

**ANALISA DISTRIBUSI AIR
PADA PIPA JARINGAN DISTRIBUSI
DI SUB-ZONE SONDAKAN PDAM KOTA SURAKARTA
DENGAN *SIMULTANEOUS LOOP EQUATION METHOD***

Skripsi



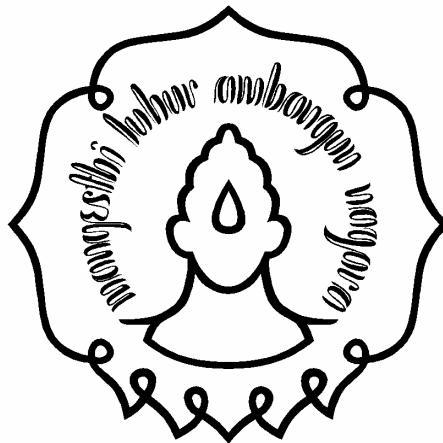
**DEKI SUSANTO
I 0302020**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2007**

**ANALISA DISTRIBUSI AIR
PADA PIPA JARINGAN DISTRIBUSI
DI SUB-ZONE SONDAKAN PDAM KOTA SURAKARTA
DENGAN *SIMULTANEOUS LOOP EQUATION METHOD***

Skripsi

Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**DEKI SUSANTO
I 0302020**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2007**

LEMBAR VALIDASI

ANALISA DISTRIBUSI AIR PADA PIPA JARINGAN DISTRIBUSI DI SUB-ZONE SONDAKAN PDAM KOTA SURAKARTA DENGAN *SIMULTANEOUS LOOP EQUATION METHOD*

Ditulis Oleh:
DEKI SUSANTO
I 0302020

Telah disidangkan pada hari Rabu tanggal 25 Mei 2007.
Di Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta,
dengan

Dosen Penguji

1. Ir. Susy Susmartini, MSIE
NIP. 131 570 273

2. Azizah Aisyati, ST, MT
NIP 132 163 510

Dosen Pembimbing

1. Bambang Suhardi, ST, MT
NIP 132 282 170

2. Rahmaniyah DA, ST
NIP 132 239 879

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA DISTRIBUSI AIR
PADA PIPA JARINGAN DISTRIBUSI
DI SUB-ZONE SONDAKAN PDAM KOTA SURAKARTA
DENGAN *SIMULTANEOUS LOOP EQUATION METHOD***

**Ditulis Oleh:
DEKI SUSANTO
I 0302020**

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Bambang Suhardi, ST, MT
NIP 132 282 170

Rahmaniyah DA, ST
NIP 132 239 879

Pembantu Dekan I
Fakultas Teknik

Ketua Jurusan
Teknik Industri

Ir. Paryanto, MS
NIP 131 569 244

I Wayan Suletra, ST, MT
NIP 132 282 734

ABSTRAK

Deki Susanto, NIM : I0302020. ANALISA DISTRIBUSI AIR PADA PIPA JARINGAN DISTRIBUSI DI SUB-ZONE SONDAKAN PDAM KOTA SURAKARTA DENGAN *SIMULTANEOUS LOOP EQUATION METHOD*. Skripsi. Surakarta: Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, April 2007.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surakarta adalah sebuah perusahaan yang mengelola dan mensuplai kebutuhan air bersih untuk wilayah Surakarta dan sekitarnya. Keberadaan PDAM saat ini dengan kapasitas produksi total 895,61 liter/detik baru bisa melayani 55,77 % penduduk Surakarta. Air yang didistribusikan dengan sistem distribusi tertutup juga belum mampu memenuhi kebutuhan air para pelanggan terbukti masih ditemukannya daerah-daerah yang mengalami kekurangan air pada saat jam-jam pemakaian padat. Selain itu juga ditemukan tingkat kebocoran air yang cukup tinggi hingga mencapai 39,02 %. Dalam rangka meningkatkan pelayanan dan memudahkan penanganan permasalahan-permasalahan tersebut PDAM Surakarta akan membentuk sistem *zone sub-zone*. Yaitu penentuan batas jaringan perpipaan di suatu kawasan secara jelas sehingga memudahkan pengawasan dan penanganan permasalahan jaringan di kawasan tersebut.

Untuk memberikan gambaran kondisi pelayanan secara rinci pada suatu kawasan jaringan perpipaan, dilakukan analisis di *sub-zone* Sondakan. Analisis yang dilakukan meliputi karakteristik aliran air pada masing-masing pipa, karakteristik pada masing-masing *node*, besar kebocoran air pada jaringan, dan juga keseimbangan antara *supply* dan *demand*. Analisis jaringan dilakukan dengan menggunakan *simultaneous loop equation method*. Yaitu suatu metode penyelesaian persamaan-persamaan aliran air dalam sistem jaringan bercabang dan tertutup dengan mempertimbangkan hukum kekekalan massa dan kekekalan energi. Dengan metode ini akan dilakukan perbaikan nilai-nilai aliran awal dengan menyelesaikan persamaan-persamaan loop secara simultan sehingga diperoleh nilai aliran yang optimal yang menggambarkan kondisi aliran yang sesungguhnya.

Dari hasil evaluasi yang dilakukan disimpulkan aliran air untuk Wilayah Sondakan telah mampu memenuhi kebutuhan air di wilayah tersebut dengan rata-rata aliran 2,15 liter/detik dengan kecepatan aliran rata-rata 8.84 cm/detik. *Head* air dapat terdistribusi merata pada seluruh bagian jaringan dengan rata-rata *headloss* selama air melau jalur pipa sebesar 0.41 feet per 1000 feet. Kebocoran untuk wilayah sondakan sebesar 13.031,81 liter perhari atau 7 % dari keseluruhan air yang didistribusikan di wilayah ini.

Kata kunci: Distribusi PDAM, Distribusi air dalam pipa, Jaringan perpipaan, *Loop equation method*, *Headloss* air.

xvi + 109 halaman; 19 gambar; 24 tabel; 7 lampiran
Daftar pustaka : 18 (1966-2001)

ABSTRACT

Deki susanto, NIM : I 0302020. The Distribution Analysis at Distribution Net Pipeline at Sondakan Sub-Zone of PDAM Surakarta by Simultaneous Loop Equation Method. Thesis. Surakarta : Industry Department of Industry Faculty, Sebelas Maret University, April 2007.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surakarta is an institution which runs and supplies clean water need of Surakarta district and surround. Its existence at this moment with total production capacity 895,61 litre/ second has already complete 55,77% Surakarta' people. Water is distributed by using closed distributed system also haven't complete customer' water need since there are districts face less water at busy hours. Beside, there are high water leaky level up to 39,02 %. In order to improve service and simple the problem, PDAM Surakarta will form zone sub-zone system. That is defining the limit of pipeline net of district clearly so it improves controlling and completing net trouble of the district.

To give the description of service condition specifically at a pipeline net district, it is carried analysis at Sondakan *sub-zone*. The analysis carried covers characteristic water current at each pipe, characteristic at each *node*, the level of water leaky at each net, and also the balance between *supply* and *demand*. The net analysis is carried by using *Simultaneous Loop Equation Method*. That is a method of completing water current conformities at closed and branched net system by considering energy and mass durability law. By using this method will carry improvement first current values by completing loop conformities simultaneously so getting optimal current value described the real current condition.

From the evaluation carried we can conclude water current for Sondakan district has been fulfilled water need at the district with current average 2,15 litre/ second with current acceleration average 8.84 cm/second. Water *head* can be distributed properly at troughout part of net with *headloss* average as long as water passes pipeline 0.41 feet / 1000 feet. The leaky of Sondakan district as 13.031,81 litre/ day or 7 % of all water distributed at the distric.

Keywords : PDAM distribution, water distribution at pipeline, pipeline, *loop equation method*, *headloss* air.

xvi + 109 pages; 19 pictures; 24 table; 7 enclosures
literature : 18 (1966-2001)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrabil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Rabb semesta alam, karena berkat ridho, bimbingan dan karunia-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan skripsi ini. Laporan ini disusun berdasarkan hasil penelitian penulis sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret.

Dalam penulisan laporan ini, penulis telah mendapatkan bantuan maupun bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan penelitian ini, diantaranya:

1. Bapak I Wayan Suletra, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Bapak Bambang Suhardi, ST, MT dan Ibu Rahmadiyah DA, ST selaku dosen pembimbing skripsi yang dengan penuh perhatian dan kesabaran memberikan bimbingannya.
3. Ibu Ir. Susy Susmartini, MSIE dan Ibu Azizah Aisyati, ST, MT selaku dosen penguji atas semua saran bagi perbaikan laporan skripsi ini.
4. Bapak Yuniaristanto, ST, MT selaku dosen pembimbing akademik atas bimbingan, pengarahan dan motivasi bagi penulis selama studi.
5. Ibu Fahrina Fahma, STP, MT selaku Kepala Laboratorium Statistik Industri dan Pengendalian Kualitas yang telah memberikan kesempatan dan pengalaman menjadi asisten meskipun penulis menyadari belum bisa bekerja optimal.
6. Semua Dosen Teknik Industri yang telah dengan ikhlas menularkan ilmu dan pengetahuannya serta seluruh karyawan TU-TI terimakasih bantuannya.
7. Mas Wagino petugas perpustakaan TI terimakasih atas bantuan ngeprintnya.
8. Bapak Abimanyu, selaku Direktur PDAM Surakarta yang telah memberikan ijin bagi penulis untuk melakukan penelitian.
9. Bapak Ir. Maryono, MT selaku kepala bagian perencanaan PDAM Surakarta dan staf-staf yang lain, terimakasih atas bantuan dan sambutan hangat yang

diberikan selama ini. Terkhusus kepada mas wahyu dan teman-teman terimakasih banyak atas bantuan, waktu dan data yang penulis perlukan.

10. Mas Arian dan Mas Faishal atas nasihat-nasihat serta doanya yang diberikan sehingga penulis lebih memahami hakikat hidup yang sesungguhnya dan memaknai arti pentingnya perjuangan.
11. Sahabat-sahabatku satu perjuangan Pak Ali, Mas Aan, Udin, Supri, Agus dan Iwan. Atas motivasinya agar tetap eksist dan bersama dalam suka maupun duka dalam perjuangan agama.
12. Sahabat-sahabat baikku: Joe-hunt, Suro Menggolo, Didik, Mietha, Az, Muj-muj, Suyanti atas persahabatan selama ini. Juga kepada Iksan, Melinda, Wi2n, Akung, Phendy, Ari dan teman-teman TI 2002 *thank for friendship* dan mohon maaf jika ada salah.
13. Teman-teman asisten laboratorium Statistik Industri dan Pengendalian Kualitas: Joe-hunt, Suro Menggolo, Mietha, Az, Melinda, dan adik-adik asisten Lab. terimakasih atas kerjasamanya.
14. Partner kerja dan semua karyawan satu atap perusahaan Victor.com: Udin, Joue-hunt, Mbak Tari dan mamah atas dorongan semangatnya,
15. Keluargaku tercinta : Ayah, Ibu, Kakek, Nenek, Kakak dan Adik yang telah memberikan dorongan dan inspirasi sehingga penulis kuat menghadapi permasalahan.
16. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan. *Jazakumullah Khoiron Katsiron.*

Ibarat peribahasa “ Tiada Gading yang Tak Retak “ maka penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi penyempurnaan penulisan laporan ini. Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi perusahaan, institusi pendidikan dan semua pembaca pada umumnya.

Surakarta, Aapril 2007

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

★★★ Karya Ini Kupersembahkan Kepada ★★★

Allah SWT, Tiada Ilah selain Dia. Rabb yang senantiasa memberikan bimbingan, petunjuk dan pertolongan bagi hamba-Nya agar selalu tetap lurus di jalan-Nya

★★ Karya Ini Kuhadiahkan Untuk ★★

Ibunda dan Ayahandaku Tercinta nun jauh disana, Kakek dan nenek dengan kasih sayang nya, Lek Ngatimin dan lek Jum, Mas Harjono, Mas Haryanto, Dan Adik Agus. karena berkat perjuangan dan doa kailianlah Ananda bisa menyelesaikan studi dengan baik. Saya berharap suatu saat nanti Ananda bisa membahagiakan kalian semua.

★ Mutiara Perjuangan ★

Hidup adalah perjuangan, kupersembahkan hidupku hanya untuk-Mu Yaa Allah, aku rela dengan apa-apa yang Kua berikan kepadaku, jika itu atas ridhomu.

Tiada Diri, Harta dan Waktu kecuali akan ku korbakan untuk perjuangan agama-Mu, demi meninggikan kalimat-Mu.

Ya... Allah,

Terimalah sedikit pengorbananku, dan sampaikanlah aku pada kedudukan sebagaimana kehendak Nabi-Mu.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN COVER	i
HALAMAN COVER DENGAN SPESIFIKASI	ii
LEMBAR VALIDASI	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
ABSTAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	I-1
1.2. Perumusan Masalah	I-3
1.3. Tujuan penelitian	I-3
1.4. Manfaat penelitian	I-4
1.5. Batasan Masalah	I-4
1.6. Asumsi	I-4
1.7. Sistematika Penulisan	I-5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Perusahaan	II-1
2.1.1. Sejarah PDAM Surakarta	II-1
2.1.2. Kondisi Sistem Jaringan	II-2
2.1.3. Produksi Air PDAM Surakarta	II-2
2.1.4. Distribusi PDAM Surakarta	II-4

2.1.5.	Kebijaksanaan dan Strategi Pengembangan	II-4
2.1.6.	Pelayanan Pelanggan	II-5
2.1.7.	Jenis Pelayanan PDAM Surakarta	II-6
2.1.8.	Pola Pelayanan	II-7
2.1.9.	Sistem Pembayaran	II-7
2.1.10.	Meter Air	II-8
2.1.11.	Pemeriksaan Kualitas Air	II-9
2.1.12.	Unit Air Kotor	II-9
2.1.13.	Cakupan Pelayanan	II-10
2.1.14.	Sarana Unit Air Kotor	II-12
2.2.	Model Jaringan Distribusi Air	II-13
2.2.1.	Pengertian Model Secara Umum	II-13
2.2.2.	Model Simulasi	II-15
2.2.3.	Aliran Fluida	II-17
2.2.4.	Jaringan hidrolik	II-21
2.2.5.	Sistem Perpipaan Sederhana	II-21
2.2.6.	Algoritma Persamaan Loop Untuk Aliran <i>Steady</i>	II-27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Tahap Pendahuluan	III-2
3.1.1	Studi Literatur	III-2
3.1.2	Studi Lapangan	III-2
3.1.3	Identifikasi Masalah	III-2
3.1.4	Perumusan Masalah	III-3
3.1.5	Tujuan Penelitian	III-3
3.2	Tahap Pengolahan Data	III-4
3.2.1	Pengumpulan Data.....	III-4
3.2.2	Pemodelan Jaringan Distribusi Air	III-4
3.2.3	Simulasi Model Jaringan	III-7
3.3	Tahap Analisis dan Interpretasi Hasil	III-9
3.4	Tahap Kesimpulan dan Saran	III-9

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data	IV-1
4.1.1. Lokasi penelitian	IV-1
4.1.2. Kondisi Fisik Jaringan	IV-1
4.1.3. Jumlah Pelanggan	IV-3
4.1.4. Karakteristik Pemakaian Air	IV-5
4.1.5. Kondisi pelayanan	IV-6
4.2. Pemodelan Sistem Jaringan Distribusi Dengan <i>Simultaneous Loop Equation method</i>	IV-7
4.2.1. Menentukan Rangkaian Loop	IV-7
4.2.2. Menghitung <i>headloss</i> Pipa (HL) dan Turunannya	IV-11
4.2.3. Menghitung <i>headloss</i> Loop (F) dan Turunannya	IV-12
4.2.4. Persamaan Matruk Jacobian (J_L)	IV-13
4.2.5. Menghitung Nilai koreksi (ΔQ)	IV-16
4.2.6. Perbaikan Nilai Aliran (Q)	IV-18
4.3. Simulasi Model Jaringan Dengan Epanet	IV-23
4.3.1. Setting Komponen Fisik	IV-23
4.3.2. Setting Komponen Non-Fisik	IV-34
4.3.3. Hasil Simulasi Hidrolik	IV-39

BAB V ANALISA DAN INTERPRETASI HASIL

5.1. Analisis Penyelesaian <i>Simultaneous Loop Equation method</i>	V-1
5.1.1. Analisis Nilai Koreksi Pada Loop	V-1
5.1.2. Analisis Aliran Air Pada pipa	V-2
5.2. Analisis Output Epanet	V-6
5.2.1. <i>Junction</i>	V-6
5.2.2. <i>Reservoir</i>	V-7
5.2.3. <i>Tank</i> (Bak Penampung)	V-7
5.2.4. Pipa	V-8
5.2.5. Pompa	V-9
5.3. Analisis Simulasi Hidrolik	V-9
5.3.1. Analisis Simulasi Aliran.....	V-9

5.3.2. Analisis Keseimbangan <i>Supply-demand</i>	V-11
5.3.3. Analisis Simulasi Step Area	V-12

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	VI-1
6.2. Saran	VI-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Sumber Air Bersih PDAM Surakarta	II-3
Tabel 2.2.	Karakteristik Pelanggan PDAM Surakarta	II-5
Tabel 4.1.	Kondisi Jaringan Pipa Distribusi di Wilayah Sondakan	IV-2
Tabel 4.2.	Jumlah dan Jenis Pelanggan di Wilayah Sondakan Tahun 2006	IV-3
Tabel 4.3.	Pemakaian Air Pelanggan di Wilayah Sondakan Tahun 2006	IV-5
Tabel 4.4.	Jumlah Pelanggan Berdasar Rata-Rata Pemakaian Air Perbulan	IV-5
Tabel 4.5.	Nilai Q Awal dan Nilai Perhitungan Untuk Iterasi $m + 1$	IV-11
Tabel 4.6.	Koreksi Loop Untuk Iterasi Pertama	IV-13
Tabel 4.7.	Pipa yang Berhubungan Antar Loop	IV-15
Tabel 4.8.	Perbaikan Aliran Pada $Q^{(m+1)}$	IV-19
Tabel 4.9.	Nilai Koreksi Loop Untuk Tiap Iterasi Dengan Metode <i>Simultaneous Loop Equation</i>	IV-21
Tabel 4.10.	Nilai Aliran Pipa Untuk Tiap Iterasi Dengan Metode <i>Simultaneous Loop Equation</i> (dalam gpm)	IV-21
Tabel 4.11.	Formula <i>Headloss</i> Untuk Aliran Penuh pada Pipa (<i>headloss</i> dalam feet dan <i>flow</i> dalam cfs)	IV-29
Tabel 4.12.	Koefisien Resistensi Untuk Jenis Pipa	IV-29
Tabel 4.13.	Penerapan <i>Multiplier</i> Sesuai Dengan Variasi <i>Demand</i>	IV-37
Tabel 4.14.	Jumlah <i>Demand</i> Pada <i>Node</i> 6 yang Bervariasi Terhadap Waktu	IV-38
Tabel 4.15.	Pembentukan Step Area	IV-48
Tabel 5.1.	Nilai Koreksi Loop Untuk Tiap Iterasi Dengan <i>Simultaneous Loop Equation Method</i>	V-2
Tabel 5.2.	Perbaikan Aliran Pada Pipa dengan <i>Simultaneous Loop equation method</i> (Dalam Gpm)	V-4

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Rangkaian Pipa Seri	II-22
Gambar 2.2.	Rangkaian Pipa Paralel	II-23
Gambar 2.3.	Analisa Pipa Bercabang	II-26
Gambar 3.1.	Langkah-Langkah Pelaksanaan Penelitian	III-1
Gambar 3.2.	Langkah-Langkah Penyelesaian Model Persamaan Aliran Jaringan Distribusi Air.	III-5
Gambar 4.1.	Analisis Jaringan Pipa Dengan Asumsi Arah Loop dan Arah Aliran.	IV-8
Gambar 4.2.	Komponen Fisik Jaringan Distribusi Air Kelurahan Sondakan	IV-24
Gambar 4.3.	Setting Karakteristik Untuk <i>junctions</i> (node) 17	IV-25
Gambar 4.4.	Setting Karakteristik Untuk <i>Reservoir</i>	IV-26
Gambar 4.5.	Setting Karakteristik Untuk <i>Tank</i>	IV-27
Gambar 4.6.	Setting Karakteristik Untuk Pipa 2	IV-30
Gambar 4.7.	Setting Karakteristik Untuk Pompa	IV-32
Gambar 4.8.	Kurva Pompa Pada Sistem Jaringan Wilayah Sondakan.	IV-35
Gambar 4.9.	Kurva Multiplier Variasi Demand Pelanggan Sondakan.	IV-37
Gambar 4.10.	Sistem Supply Air Bersih Jaringan Wilayah Sondakan.	IV-40
Gambar 4.11.	Simulasi Aliran Air Pada Jam 06.00.	IV-41
Gambar 4.12.	Simulasi Aliran Air Pada Jam 01.00.	IV-42
Gambar 4.13.	Sistem Keseimbangan <i>Supplai</i> dan <i>Demand</i>	IV-43
Gambar 4.14.	Kurva Aliran Air Pada <i>Tank</i>	IV-44
Gambar 4.15.	Karakteristik <i>Tank</i> Pada Jam 24.00.	IV-45
Gambar 4.16.	Posisi Katup Pada Jaringan Perpipaan Distrik Sondakan	IV-47
Gambar 5.1.	Komponen Fisik Dalam Jaringan Distribusi Air Kelurahan Sondakan	V-3
Gambar 5.3.	Simulasi aliran air pada jam 06.00.	V-10
Gambar 5.3.	Sistem Keseimbangan <i>Supply</i> dan <i>Demand</i>	V-11

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Pengambilan Air Pada Pipa Sekunder dan Tersier Oleh Pelanggan	L-1
Lampiran 2 : Pengambilan Air Pada Node Dari Pipa-Pipa Sekunder dan Tersier	L-2
Lampiran 3 : Data Panjang Pipa, Diameter Pipa dan Nilai Kekasaran Pipa	L-3
Lampiran 4 : Data Pengukuran Meter Induk Pipa Distribusi Utama	L-4
Lampiran 5 : Data Tagihan Pemakaian Air Oleh Pelanggan	L-17
Lampiran 6 : Network Table – Link	L-23
Lampiran 7 : Network Table – Node	L-71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surakarta adalah sebuah perusahaan yang mengelola dan mensuplai kebutuhan air bersih untuk wilayah Surakarta. Dalam rangka memenuhi kebutuhan air bersih tersebut, PDAM Surakarta terus melakukan perbaikan pelayanan dengan meningkatkan kualitas air yang dikirim, menambah jumlah kapasitas produksi dan juga melalui perbaikan-perbaikan sistem jaringan distribusi.

Sistem jaringan distribusi yang diterapkan oleh PDAM Surakarta adalah "Sistem Jaringan Tertutup". Air yang didistribusikan berasal dari beberapa sumber mata air, instalasi pengolahan air (IPA) dan sejumlah sumur dalam yang tersebar diseluruh wilayah Surakarta. Dengan sistem jaringan tertutup tersebut PDAM Surakarta berharap dapat mendistribusikan air bersih secara merata dan seimbang diseluruh lokasi jaringan sesuai dengan kebutuhannya masing-masing. Air bersih dari sumber-sumber tersebut ada yang langsung didistribusikan kepada pelanggan

dan ada pula yang ditampung kedalam *reservoir-reservoir* sebagai pusat penampungan air sementara untuk menjaga air yang didistribusikan agar tetap berada pada tekanan tertentu.

PDAM Surakarta memiliki kapasitas produksi sebesar 895,61 liter/detik. Sumber tersebut diambil dari sumber mata air Cokrotulung yang menggunakan sistem gravitasi dengan kapasitas produksi 387 liter/detik, 26 buah sumur dalam yang menggunakan sistem pompa dengan kapasitas total 476,73 liter/detik dan air baku dari Instalasi Pengolahan Air Jurug dengan kapasitas produksi 31,88 liter/detik. Selain sumber-sumber air tersebut PDAM Surakarta juga memiliki beberapa *reservoir* dengan kapasitas tampungan total sebesar 9.140 m³. (<http://www.pdamsolo.or.id/>).

Dengan kapasitas yang ada tersebut, PDAM Surakarta baru mampu melayani kebutuhan air masyarakat Surakarta sebesar 55,77 %, padahal target cakupan pelayanan yang ingin dicapai adalah sebesar 80 % dari seluruh penduduk Kota Surakarta. Cakupan pelayanan yang rendah tersebut akan semakin menurun lagi bila PDAM Surakarta tidak melakukan penambahan kapasitas produksi atau melakukan optimasi jaringan distribusi yang sudah ada, karena disatu sisi kebutuhan air masyarakat Surakarta terus mengalami peningkatan. Berdasarkan analisa kebutuhan air, pada tahun 2010 PDAM Surakarta akan menagalami kekurangan kapasitas produksi sebesar 460 liter/detik, dan tahun 2015 mengalami kekurangan sebesar 635 liter/detik. Maka dari itu, dalam rangka pengembangan ke depan, PDAM Surakarta akan berupaya meningkatkan cakupan pelayanannya baik melalui program mendesak, program jangka menengah maupun program jangka panjang. (<http://www.pdamsolo.or.id/>).

Selain kondisi cakupan pelayanan yang masih rendah, ditemukan juga permasalahan-permasalahan lain seperti besarnya tingkat kebocoran dan pendistribusian air yang tidak merata. Dengan adanya distribusi air yang tidak merata ini maka sering terjadi kawasan-kawasan tertentu yang mengalami kekurangan air. Kawasan ini biasanya adalah tempat-tempat yang jauh dari jalur-jalur jaringan distribusi utama. Waktu terjadinya kekurangan air biasanya pada saat-saat tertentu yaitu pada jam-jam pemakaian padat pagi hari berkisar antara jam 05.00 hingga jam 07.00 dan sore hari jam 16.00 hingga jam 18.00.

Dalam rangka peningkatan pelayanan, terutama dalam hal optimasi jaringan distribusi yang telah ada, terlebih dahulu harus diketahui kondisi sistem distribusi yang ada saat ini, baik itu berupa besarnya aliran pada masing-masing pipa, *head* (energi persatuan berat air) pada setiap titik, *headloss* (kehilangan energi) air selama melewati pipa, dan juga besarnya tekanan air pada tiap titik pada pipa. Dengan diketahuinya nilai-nilai parameter jaringan distribusi tersebut maka diharapkan kegiatan optimasi jaringan distribusi akan lebih efektif karena bisa menyesuaikan nilai-nilai parameter tersebut pada suatu lokasi dengan standar yang dibutuhkan.

Dengan adanya perencanaan optimasi jaringan distribusi yang tepat diharapkan akan dapat meningkatkan pelayanan PDAM Surakarta. Dengan perencanaan ini diharapkan terjadi keseimbangan antara kemampuan *supply* dengan *demand* yang tersebar di seluruh jaringan. Maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisis distribusi aliran air yang ada di PDAM Surakarta.

Ada beberapa metode yang biasa digunakan untuk menyelesaikan sistem-sistem persamaan aliran air pada saluran pipa untuk jenis saluran paralel maupun saluran bercabang. Dua metode yang biasa digunakan adalah metode *Hardy Cross* dan metode *Simultaneous Loop Equations*. Karena metode *Hardy Cross* menyelesaikan setiap persamaan loop secara sendiri-sendiri dan terpisah dari sistem jaringan secara keseluruhan, maka metode ini kelihatan lebih *simpel*. Berbeda dengan metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Simultaneous Loop Equations*. Metode ini menyelesaikan satu persamaan loop secara simultan dengan melibatkan pengaruh loop-loop yang lain yang ada dalam sistem jaringan. Walaupun sedikit lebih rumit, namun metode ini akan lebih efektif karena nilai yang optimal akan segera dicapai dengan iterasi yang relatif lebih sedikit bila dibandingkan dengan metode *Hardy Cross* (Ronald V Giles, 1986).

Sebagai *pilot cell* dalam penelitian ini akan dipilih wilayah Sondakan, mengingat wilayah ini telah terbentuk sebagai satu sub-zone yang jelas. Pada wilayah ini jaringan perpipaan yang ada merupakan jaringan perpipaan yang telah tertutup dan dapat dipisahkan dari sistem jaringan yang lain dengan mudah. Dan selain itu semua jaringan perpipaan telah teridentifikasi dengan baik.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana analisa distribusi aliran air pada pipa jaringan distribusi Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surakarta dengan menggunakan *simultaneous loop equation method*.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Adapun maksud dan tujuan dilaksanakannya kegiatan penelitian ini adalah untuk

1. Mengetahui besar dan arah aliran air pada masing-masing pipa.
2. Mengetahui kecepatan aliran air pada masing-masing pipa.
3. Mengetahui *Head* (energi persatuan berat air) dan tekanan air pada masing-masing titik.
4. Mengetahui *headloss* (kehilangan energi) air selama melewati suatu jaringan pipa.
5. Mengetahui keseimbangan antara *supply* dan *demand* pada masing-masing *node* (titik pengambilan air).
6. Mengetahui besar kehilangan air (kebocoran) pada seluruh sistem jaringan.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperoleh gambaran kondisi distribusi air yang sesungguhnya sebagai pertimbangan PDAM Surakarta dalam melakukan optimasi jaringan distribusi dalam rangka meningkatkan pelayanan.

1.5 BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang digunakan agar pembahasan tidak menyimpang dari tujuan penelitian dan tidak terlalu kompleks adalah:

1. Penelitian dilakukan di PDAM Kota Surakarta dan sebagai *pilot cell* dipilih kawasan Sondakan.

2. Pipa-pipa Jaringan yang disertakan dalam pemodelan jaringan distribusi adalah pipa-pipa jenis transmisi (primer) dan distribusi (sekunder dan tersier).
3. Pemodelan distribusi aliran air dengan menggunakan *simultaneous loop equation method*.

1.6 ASUMSI-ASUMSI

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Aliran air yang mengalir dalam jaringan perpipaan adalah jenis aliran air *turbulent*.
2. Kondisi aliran air dalam pipa pada sistem jaringan perpipaan selalu dalam kondisi penuh.
3. Pola waktu pemakaian air di setiap pelanggan adalah sama.
4. Ketinggian relief permukaan tanah Wilayah Sondakan adalah 15 DPL (diatas permukaan laut).

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan sistematika penelitian dibuat agar dapat memudahkan pembahasan dari tugas akhir ini. Penjelasan mengenai sistematika penulisan ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab ini memberikan gambaran awal mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan serta sistematika penulisan yang digunakan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini menguraikan konsep serta teori yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas seperti, konsep pemodelan dan penggunaan simulasi, prosedur penyelesaian secara manual dengan model loop, langkah-langkah dan prosedur penyelesaian dalam epanet, dan studi-studi lain yang berkaitan dengan sistem jaringan distribusi air.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini memuat gambaran terstruktur tahap demi tahap proses pelaksanaan penelitian yang digambarkan dalam bentuk *flow chart* dan penjelasan dari tiap tahap proses penelitian.

Bab IV Pengolahan Data

Bab ini menjelaskan tentang data-data yang diperlukan dalam penelitian, proses penyusunan model jaringan distribusi air dengan menggunakan bantuan *software* Epanet, dan juga penyelesaian sistem-sistem persamaan distribusi air.

Bab V Analisis

Bab ini akan menjelaskan dan menganalisis hasil pengolahan data dan menginterpretasikannya pada sistem yang sedang diteliti.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan yang merupakan uraian target pencapaian dari tujuan penelitian dan juga saran-saran yang berisi masukan bagi kelanjutan penelitian yang telah dilakukan dan masukan untuk penanggung jawab tempat/obyek penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

2.1.1 Sejarah PDAM Surakarta

Air Minum Surakarta dibangun tahun 1929 oleh Paku Buwono X pada saat thedakan pada tahun 1925. Pelaksanaan pembangunan diserahkan pada *NV Hoogdruk Water Leiding Hoofplaats Surakarta en Omstreken*. Pada jaman pendudukan Jepang, berubah nama menjadi *Solo Suido Syo* dan diambil alih oleh Pemerintah Republik Indonesia setelah Proklamasi 17 Agustus 1945. Pada tanggal 9 April 1960 pengelolaan dialihkan kepada Dinas Penghasilan Daerah Kotamadya Dati II Surakarta.

Untuk dapat memenuhi pertumbuhan dan perkembangan perusahaan, maka berdasarkan Peraturan Daerah Nomor 3 tahun 1977 tanggal 21 Mei 1977, status dari Seksi Air Minum pada Dinas Pendapatan Daerah ditingkatkan menjadi Perusahaan Daerah Air Minum Kotamadya Dati II Surakarta. Dan Berdasarkan Surat Keputusan Walikotamadya Kepala Dati II Surakarta Nomor 002 Tahun 1998 tanggal 26 Juni 1998 tentang Susunan Organisasi dan Tata Kerja Perusahaan Daerah Air Minum Kotamadya Daerah Tingkat II Surakarta yang menugasi perusahaan ini untuk mengelola air bersih dan air limbah. Pada tanggal 16 Januari 2004 telah ditetapkan Peraturan Daerah Kota Surakarta No. 1 Tahun 2004 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Nomor 3 Tahun 1977 tersebut di atas.

❑ Visi

Mewujudkan salah satu PDAM terbaik dibidang pelayanan air minum dan air limbah melalui pengelolaan yang berwawasan lingkungan

❑ Misi

Meningkatkan nilai kesehatan masyarakat Surakarta melalui usaha penyediaan air minum dan usaha pengelolaan air limbah dengan berorientasi pada pengelolaan yang profesional dan mandiri

❑ Motto

“Bersama Kami Memulihkan Alam” adalah perwujudan dan keinginan PDAM kota Surakarta untuk mengelola dan melestarikan alam secara baik

dan benar. Sedangkan “Taqwa Ilmu Karya dan Pengabdian merupakan pedoman dalam peningkatan SDM sesuai dengan tujuan perusahaan dalam aspek organisasi yang kaya fungsi dan mampu melayani perubahan sifat masyarakat

2.1.2 Kondisi sistem jaringan

Kondisi sistem jaringan PDAM Kota Surakarta s/d Nopember 2006:

- Cakupan pelayanan 55,77 %
- Tingkat kehilangan 39,02 %
- Jumlah pelanggan 53.197 SR (sambungan rumah)
- Kapasitas Produksi 895,61 l/det

Sumber Produksi Air :

- - Cokrotulung Spring : 387 l/det
- - 26 Sumur Dalam : 476,73 l/det
- - IPA Jurug : 31,88 l/det
- - 5 buah IPA Fe dan Mn (Karangasem, Manahan, Banjarsari, Plesungan, Kadipiro).

2.1.3 Produksi Air PDAM Surakarta

Sampai dengan Nopember 2006, PDAM Surakarta memiliki kapasitas produksi sebesar 895,61 liter/detik:

- Air baku berasal dari sumber mata air Cokrotulung (387 liter/detik) yang terletak 27 km dari kota Solo dengan elevasi 210,5 di atas permukaan laut.
- Air baku yang berasal dari 26 buah sumur dalam dengan total kapasitas 476,73 l/det
- Air baku dari Instalasi Pengolahan Air Jurug dengan kapasitas 31,88 l/dt
- Total kapasitas *reservoir* sebesar 9.140 m³
- Lima buah Instalasi Pengolahan Air untuk Fe dan Mn.

Dengan kapasitas yang ada, PDAM Surakarta mampu melayani 55,77 % masyarakat Surakarta termasuk kawasan *hinterland* dengan pemakaian rata-rata 25,19 m³/bln

Tabel 2.1. Sumber air bersih PDAM Surakarta

Air Baku	Kapasitas Produksi
Mata air Cokrotulung	387,00
IPA Jurug	31,88
Mojosongo I	16,54
Mojosongo II	9,22
Mojosongo III	5,51
Kadipiro I	20,59
Kadipiro II	28,27
Kadipiro III	16,12
Randusari I	9,30
Randusari II	22,18
Randusari III	16,36
Ngadisono	57,48
Plesungan II	27,79
Plesungan III	7,42
Sibela	2,43
Karangasem	26,55
Manahan I	30,20
Manahan II	19,86
Sumber	3,24
Banyuanyar	7,81
Banjarsari	25,73
Jebres I	22,77
Jebres II	36,44
Pedaringan	15,21
Jurug I	16,84
Jurug II	-
Tirtonadi	22,60
Semanggi	10,27
Total	895,61

Sumber: Data PDAM Surakarta

2.1.4 Distribusi PDAM Surakarta

Jaringan distribusi merupakan "sistem tertutup" yang bersumber pada mata air Cokrotulung dan dapat melayani selama 24 jam. Untuk kawasan utara, tengah dan timur Surakarta, dilayani oleh beberapa sumur dalam yang dapat bekerja 18-24 jam.

Dengan tahapan pembangunan sistem air bersih di Surakarta, jaringan transmisi saat ini terdapat komponen jaringan perpipaan lama dan baru. Jaringan perpipaan lama yang terpasang pada tahun 1929 dengan diameter 450 mm sepanjang 14.400 m menuju ke *reservoir* Kartosuro (kapasitas 4.000 m³) dengan elevasi 148,95. *Reservoir* ini berfungsi sebagai bak pelepas tekan jaringan transmisi diameter 400 mm. yang sekaligus sebagai *main* distribusi, mengalirkan air dari *reservoir* Kartosuro ke daerah pelayanan Kota Surakarta dan *reservoir* Jebres sebagai *balance reservoir* (kapasitas 2.738 m³), dengan jarak 15.000 m, dengan elevasi 115,50.

Jaringan perpipaan baru terpasang pada tahun 1979 dengan diameter 450 mm dialirkan dari sumber air Cokrotulung menuju *reservoir* Kartosuro sepanjang 13.000 m dan diteruskan ke *Reservoir* Jebres sepanjang 14.000 m dengan diameter pipa 600 mm.

Untuk perbaikan tekanan telah dilakukan penambahan kapasitas *reservoir* dengan sistem *boost*, di kawasan utara dengan *reservoir* 1.000 m³ dan 500 m³ dan di kawasan selatan tiga buah *reservoir*, masing-masing dengan kapasitas 300 m³ yang dilengkapi IPA untuk Fe dan Mn.

2.1.5 Kebijakan dan Strategi Pengembangan PDAM Surakarta

Sesuai dengan *Millenium Development Goals* (MDG) bahwa Indonesia diharapkan pada tahun 2015 cakupan layanan air minum di perkotaan dapat ditingkatkan menjadi 80%, untuk itu Kebijakan dan Strategi Pengembangan PDAM Surakarta 2004-2015 adalah melayani 80% dengan jumlah pelanggan 80.298 SR, tingkat kehilangan air 24% dan total kapasitas produksi 1,480 l/det. Berdasarkan Analisa Kebutuhan sampai tahun 2015, pada tahun 2010 PDAM Surakarta akan mengalami kekurangan kapasitas produksi sebesar 460 l/det, dan tahun 2015 mengalami kekurangan 635 l/det.

Program Pengembangan Kapasitas Produksi (dalam liter/detik)

1. Optimalisasi produksi	20
2. Penambahan sumur dlm	40
3. IPA Bengawan Solo	100
4. Mata air Lawu/Merapi	100
5. IPA Colo dan Mulur	400

2.1.6 Pelayanan Langganan

PDAM Surakarta sebagai salah satu infrastruktur kota, memberi pelayanan air bersih bagi kelangsungan kehidupan penduduk Kota Surakarta. Pelayanan pada masyarakat sampai saat ini berupa 53.197 sambungan rumah diantaranya 474 berupa hydrant umum. Hal tersebut sebagai upaya PDAM Kota Surakarta untuk membudayakan pemakaian air bersih bagi semua lapisan masyarakat.

Untuk menunjang operasional dan peningkatan mutu pelayanan kepada masyarakat dan pengembangan perusahaan, PDAM Kota Surakarta telah menyusun *coorporate plan* 2005-2010, yang didalamnya telah tersusun program-program bidang untuk bagian dan unit kerja dilingkungan PDAM selama 5 tahun.

Tabel 2.2. Karakteristik pelanggan PDAM Surakarta.

No	Klasifikasi	Jumlah pelanggan
1	Sosial Umum	474
2	Sosial Khusus	493
3	Rumah Tangga 1	2.008
4	Rumah Tangga 2	35.787
5	Rumah Tangga 3	3.484
6	Rumah Tangga 4	5.069
7	Pemerintahan	241
8	Sekolahan	331
9	Niaga 1	5.009
10	Niaga 2	301
Jumlah		53.197

(*data PDAM bulan Nopember 2006)

Dedikasi kami terhadap pelayanan kepada masyarakat senantiasa kami tingkatkan sesuai visi kami untuk menjadi PDAM terbaik dibidang pelayanan air minum dan air limbah dengan berorientasi pada pelayanan profesional dan mandiri

2.1.7 Jenis Pelayanan PDAM Surakarta

1. pelayanan air minum

sambungan baru

- *one day service* (1 hari)
- *one week service* (1 minggu)
- reguler (biasa)

pengaduan

- kualitas air
- kontinuitas aliran air
- rekening
- kerusakan
- meter air
- pipa

kebocoran

pemeriksaan kualitas air

tera meter air

mobil truk tanki air

hydrant umum

penutupan

buka kembali

ganti nama

pindah meter air

ganti meter baru

perbaikan

- kerusakan pipa
- kerusakan meter air

2. pengelolaan limbah

instalasi pengolahan air limbah
instalasi pengolahan lumpur tinja
mobil truk sedot tinja
sambungan baru
pengaduan

- rekening
- kerusakan
- saluran pembuangan tidak/kurang lancar

ganti nama
perbaikan

3. pengelolaan kolam renang
kolam renang Tirtomoyo Jebres
kolam renang Tirtomoyo Manahan
4. pelayanan wilayah utara

2.1.8 Pola Pelayanan

pola pelayanan yang diterapkan PDAM kota Surakarta adalah pola pelayanan satu pintu, merupakan pola pelayanan yang dilakukan secara terpadu dan sistematis pada satu tempat atau lokasi dengan satu pintu dalam satu bangunan yang sama.

2.1.9 Sistem Pembayaran

Pembayaran rekening air minum dilakukan di loket-loket kantor kas pembantu, kantor cabang wilayah utara yang pembagiannya disesuaikan dengan lokasi tempat tinggal pelanggan serta di beberapa bank swasta dan pemerintah. Kantor-kantor Kas Pembantu dan Bank tersebut yaitu :

- Kantor Kas Banjarsari
Jl. M. Saleh Werdisastro No.2 Surakarta
- Kantor Kas Kartopuran
Jl. Moh. Yamin No.68 Surakarta
- Kantor Kas Kleco
Jl. Slamet Riyadi No.586 Surakarta

- Kantor Kas Sumber
Jl Letjend Suprpto No. 1 Surakarta Kantor
- Kantor Kas Luar Kota
- Kantor Cabang Wilayah Utara
Jl. Malabar Utara No 23-25 Mojosongo Surakarta
- Bank Central Asia
- Bank Buana Indonesia
- Bank Pembangunan Daerah
- Lippo Bank
- Bank Pasar

Untuk pembayaran rekening air minum melalui Bank, pelanggan harus mempunyai rekening tabungan di bank yang bersangkutan, karena sistem pembayarannya yaitu cara memindah bukukan nilai rekening air minum.

2.1.10 Meter Air

Perlindungan terhadap konsumen merupakan kewajiban perusahaan kepada pelanggannya. Salah satu aspek perlindungan tersebut adalah akurasi alat ukur yang dalam hal ini berupa meter air, dengan demikian pelanggan akan mendapatkan hak dan membayar kewajibannya tanpa dirugikan sedikitpun. Alat ukur itu harus dijaga sebaik mungkin dengan diperiksa ulang secara periodik sebagaimana umur teknis yang telah ditetapkan (Program Penggantian Meter Berkala).

Pengawasan dan legalitas tera meter ini dilakukan sepenuhnya oleh institusi yang berwenang, dalam hal ini kantor Departemen Perindustrian dan Perdagangan seksi Metrologi, sedangkan peralatan tera menggunakan fasilitas yang tersedia di PDAM Surakarta.

Karena pentingnya masalah meter air ini maka PDAM Surakarta memisahkan unit kerja ini menjadi bagian tersendiri. Pada sebagian besar PDAM yang lain unit kerja ini masih di bawah bagian distribusi.

Untuk meningkatkan kinerja penurunan tingkat kehilangan air, telah dibentuk seksi kebocoran di bawah bagian meter air yang mempunyai tugas dalam

perencanaan, pelaksanaan dan monitoring rotasi meter dan program *zoning* dengan menggunakan peralatan yang telah dimiliki PDAM Surakarta antara lain:

- *Acoustic Bar / Stick Noise Detector*
- *Leak Noise Detector*
- *Data Logger*

Dalam pengendalian tingkat kehilangan air, sistem jaringan distribusi PDAM Surakarta direncanakan dibagi menjadi tujuh buah *zoning* termasuk luar kota. Dari 35 distrik meter (*sub zoning*) yang direncanakan sampai saat ini PDAM Surakarta telah membuat 15 distrik meter (3 buah di luar kota).

2.1.11 Pemeriksaan Kualitas Air

Untuk pemenuhan kebutuhan air bersih yang sehat bagi warga kota Surakarta, khususnya upaya untuk memberikan pelayanan yang sebaik-baiknya bagi masyarakat pemakai jasa air minum maka harus dijaga mutu airnya. Karena kualitas air minum sangat berpengaruh terhadap kesehatan. Oleh sebab itu air bersih yang di distribusikan kepada masyarakat harus sesuai dengan standar air minum yang ditetapkan pemerintah melalui PERMENKES RI Nomor : 907/MENKES/SK/VII/2002.

Dalam hal pendistribusian air bersih tersebut PDAM Kota Surakarta selalu berupaya meningkatkan SDM dan peralatan laboratorium untuk melakukan pemeriksaan kualitas air baik itu dari sumber air maupun di lokasi-lokasi pelanggan secara kontinyu dan periodik. Hal tersebut tidak lain agar air yang dikonsumsi masyarakat setiap saat dapat terpantau kualitasnya. Dalam pemeriksaan kualitas air, PDAM Surakarta bekerjasama dengan Dinas Kesehatan Kota (DKK) maupun BTKL Yogyakarta.

2.1.12 Unit Air Kotor

Pengelolaan terhadap sistem sanitasi khususnya air limbah rumah tangga, menjadi suatu kebutuhan yang mendesak, ketika dampak negatif mulai dirasakan seperti ancaman terhadap kesehatan manusia, pencemaran air tanah dangkal, pencemaran badan air (sungai) dan lain sebagainya. Kota Surakarta telah

mempunyai sarana pengelolaan air limbah eksisting secara terpusat dengan prosentase pelayanan sekitar 10,78%.

Seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan aktivitas kota yang menjadi sentra bagi kota sekitarnya, dirasakan perlu adanya optimalisasi dan pengembangan yang berkelanjutan.

Kebutuhan terhadap optimalisasi dan pengembangan bertitik tolak dari analisis kapasitas pipa terpasang (*Interceptor*). Di Kota Surakarta telah dibangun Pipa Interceptor, sekunder dan pipa lateral serta IPAL Semanggi dan IPAL Mojosongo pada saat SSUDP (*Semarang Surakarta Urban Development Program*) Tahun 1995 s/d 2001 sektor Sanitasi, tujuan dari pembangunan tersebut adalah untuk penataan lingkungan agar terbebas dari pencemaran limbah, sehingga bisa meningkatkan derajat kesehatan manusia, perbaikan kualitas air tanah karena masyarakat Kota Surakarta masih banyak yang mengkonsumsi air tanah dangkal, serta untuk memulihkan badan air/sungai, dimana sungai-sungai yang ada disekitar Kota Surakarta sudah mulai tercemar limbah rumah tangga dan limbah industri. Perlu diketahui bahwa di Kota Surakarta sumber pencemar yang paling dominan adalah limbah rumah tangga sekitar 89% sisanya adalah pencemaran limbah industri dan rumah sakit. Sudah saatnya penanganan sanitasi menjadi prioritas.

2.1.13 Cakupan Pelayanan

Cakupan Pelayanan Sanitasi Surakarta

❑ IPAL Mojosongo

Kapasitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Mojosongo adalah 24 lt/dt, untuk melayani Surakarta wilayah Utara mencakup Perumnas Mojosongo, Wilayah Mojosongo non perumnas, wilayah Nusukan, Kadipiro dengan jumlah Sambungan rumah saat ini 4.210 unit dan dapat dimaksimalkan / dioptimalkan.

❑ IPAL Semanggi

Kapasitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Semanggi adalah 30 lt/dt, untuk melayani sekitar ± 6.000 Sambungan rumah atau ± 30.000 jiwa, saat ini sudah mencapai kapasitas maksimum dengan cakupan wilayah Kota Surakarta bagian selatan yaitu Sistem Kasunanan dan Sistem Mangkunegaran serta daerah

pengembangan baru di wilayah selatan (Kel Semanggi, Joyosuran, Pasar Kliwon, Kedung Lumbu).

❑ IPLT Putri Cempo

Unit Air Kotor PDAM Kota Surakarta disamping mengelola air limbah sistem perpipaan juga melayani / mengelola Lumpur Tinja yang akan diolah di IPLT Putri Cempo. IPLT Putri Cempo terletak di kawasan Mojosongo dekat dengan TPA, kapasitas pengolahan IPLT Putri Cempo 26 M3 per hari saat ini baru bisa operasional 60% atau sekitar 16 M3 per hari, pengolahan IPLT tersebut dengan menggunakan sistem anaerobic pond memanfaatkan bakteri-bakteri untuk mengurai zat organik tersebut. Produk samping dari pengolahan Lumpur tinja adalah pemanfaatan Lumpur yang dikeringkan pada *sludge drying Bed* untuk dijadikan pupuk organik

Sistem Pengaliran dan Pengolahan

❑ IPAL Semanggi

Untuk IPAL Semanggi pengaliran Air limbah mulai dari rumah tangga sampai ke IPAL Semanggi mengalir secara gravitasi serta dibantu pengglontor dari bendung Kleco, air limbah hasil olahan dibuang ke Kali Bengawan Solo dengan cara dipompa. IPAL Semanggi digunakan system bio activated sludge, mengolah air limbah rumah tangga dengan BOD 200-400 mg/l menjadi air olahan dengan BOD 11 s/d 20 mg/l.

❑ IPAL Mojosongo

Untuk IPAL Mojosongo, pengaliran limbah dari rumah tangga ditampung terlebih dahulu di Bak penampung dan dipompa ke Pengolahan. Pemompaan dilakukan karena kontur tanah menuju ke lokasi IPAL lebih tinggi dari daerah pelayanan. Hasil pengolahan dari IPAL Mojosongo dibuang ke kali Anyar dan bermuara ke Bengawan Solo dengan pengaliran secara gravitasi. Sistem IPAL Mojosongo digunakan system kombinasi aerasi dan kolam *facultative* untuk mengolah air limbah rumah tangga, dengan BOD 200 - 400 mg/l menjadi air olahan dengan BOD (*Biological Oxygen Demand*) 20 mg/l.

❑ IPLT Putri Cempo

Sistem pengaliran pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja secara gravitasi, adapun pengambilan lumpur tinja dari masyarakat ke IPLT dengan

menggunakan armada *Vacum Truck* / Truck Tangki Tinja, Unit Air Kotor PDAM Kota Surakarta saat ini baru mempunyai 1 unit Truck Tinja kapasitas 2 M3, untuk kedepan akan dipersiapkan Tangki Tinja ukuran 1 M3 sehingga untuk gang-gang / jalan sempit bisa masuk. Sedangkan dari Swasta ada CV Jack Rudy dan CV Wahyu.

2.1.14 Sarana Unit Air Kotor

Jaringan air limbah.

1. Jaringan air limbah yang dibangun pada jaman Belanda tahun 1940, terdiri dari 3 sub sistem yaitu :
 - Sub Sistem Kasunanan (Panjang pipa 20,5 Km, Diameter 250-375 mm)
 - Sub Sistem Mangkunegaran (Panjang pipa 13,4 Km, Diameter 250-375 mm)
 - Sub Sistem Jebres (Panjang Pipa 3,9 Km, Diameter 250 – 375 mm)
2. Jaringan air limbah sistem Perumnas Mojosongo dibangun pada tahun 1980 panjang pipa 20,5 Km, Diameter pipa 200 s/d 500 mm.
3. Pemasangan jaringan pipa air limbah proyek SSUDP (*Semarang Surakarta Urban Development Program*) meliputi :
 - Pipa *Interceptor* : 12.500 meter
 - Pipa Sekunder : 14.881 meter
 - Pipa Lateral : 65.000 meter

Peralatan Pemeliharaan.

1. *High Pressure Sewer Cleaner* 1 unit
2. *Truck Tangki Tinja* 2 m3 1 unit
3. *Tangki Tinja* 1m3 2 unit
4. *Mobil Pick Up* 2 unit
5. *Truck Crane* 1 unit
6. *Dump Truck* 1 unit

Peralatan penunjang.

1. Peralatan laboratorium
2. Pompa air limbah

2.2 MODEL JARINGAN DISTRIBUSI AIR

2.2.1 Pengertian Model Secara Umum

Model bisa diartikan sebagai penggambaran sesuatu sehingga kita menjadi lebih jelas memahaminya. Di dalam model ada istilah simulasi, validasi, error (kesalahan). Simulasi adalah mencoba-coba berbagai alternatif, untuk melihat perubahan dan hasil yang terbentuk. Misalnya kita tidak menyukai letak pintu di depan, maka kita bisa mencobanya di samping kiri, disamping kanan, dan seterusnya. Bisa dibayangkan jika coba-coba tersebut dilakukan pada bangunan sesungguhnya (bukan model), betapa repot dan mahal nya coba-coba itu.

Bagaimanapun model adalah tiruan. Kita ingin menyerupai yang asli. Maka kita bandingkan model dengan yang sesungguhnya (benda asli). Kegiatan membandingkan model dengan yang asli dikenal dengan validasi. Besarnya perbedaan tersebut disebut dengan *error* (kesalahan). Kegiatan validasi bertujuan agar *error* (kesalahan) sekecil mungkin.

Model dapat digambarkan dengan diagram dua dimensi, misalnya diagram rantai makanan atau siklus air, miniatur tiga dimensi, misalnya maket, ataupun model matematika, misalnya persamaan reaksi kimia.

Model matematika adalah model yang digambarkan dalam persamaan matematika. Persamaan ini merupakan pendekatan terhadap suatu fenomena fisik. Pembuktian kebenaran hubungan suatu fenomena fisik dengan sebuah persamaan matematik, dapat dilakukan dengan riset laboratorium. Nanti dicari hubungan antara hasil laboratorium dengan hasil perhitungan matematika. Jika hasilnya sangat memuaskan, maka dihasilkanlah persamaan empiris. Pembuktian empiris banyak menggunakan cabang ilmu statistik.

Dengan kemajuan komputer, model matematika ini dapat diubah ke dalam bahasa program komputer. Dengan komputer, proses simulasi menjadi lebih mudah dan cepat.

Model Lingkungan

Model lingkungan pada dasarnya menggambarkan suatu sistem/fenomena lingkungan kedalam bentuk yang lebih sederhana. Berdasarkan acuan waktu model lingkungan dapat digolongkan menjadi model statik dan dinamik:

- Model Statik, yaitu model yang mengabaikan pengaruh waktu. Biasanya model ini menggambarkan sistem dalam bentuk persamaan matematika. Untuk memperoleh hasil, perhitungan dilakukan cukup satu kali saja dan variabel yang digunakan dalam persamaan merupakan nilai rata-rata.
- Model dinamik menempatkan waktu sebagai variabel bebas, sehingga model jenis ini menggambarkan dinamika suatu sistem sebagai fungsi dari waktu. Untuk memperoleh hasil, perhitungan dilakukan secara berulang-ulang (iterasi) sampai tercapai nilai kesalahan (*error*) yang minimal.

Proses Pemodelan

Tahap-tahap yang umum digunakan dalam pengembangan suatu model adalah :

1. Definisi masalah, dalam tahap ini masalah yang sulit didefinisikan dan diurai menjadi unsur-unsur pembentuk masalah. Didefinisikan juga sistem dan faktor eksternal (di luar sistem). Dicari komponen masalah yang paling penting dan signifikan dalam pemecahan masalah. Dicari pula komponen masalah yang bisa dijadikan titik acuan awal pemecahan masalah.
2. Strukturisasi model konseptual, pada tahap ini diuraikan hubungan antara komponen penyusun masalah, sistem dan tujuan studi.
3. Formulasi model, yaitu proses merumuskan perilaku model, dan hubungan antar variabel. Interaksi antar variabel yang kompleks sering disederhanakan dengan menggunakan asumsi yang tepat.
4. Kalibrasi model yaitu menyesuaikan parameter-parameter dalam model sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.
5. Validasi model yaitu tahap pengujian keakuratan model dengan membandingkan perilaku model dan perilaku sistem nyata.
6. Uji Sensitifitas yaitu tahap pengujian perilaku model dengan mengubah-ubah nilai variabel model.
7. Analisis dan solusi model. Model akan menghasilkan alternatif solusi sesuai dengan skenario yang kita buat. Hasil model yang dirasa kurang tepat, perlu dijalankan ulang (biasanya menggunakan komputer), sampai tercapai solusi yang memuaskan. Proses ini dikenal dengan simulasi model.

8. Implementasi model. Agar model dapat diterapkan dengan baik, maka pihak perancang model dan pengguna model (misalnya para pengambil keputusan) perlu bekerja sama sejak awal. Perancang model akan membuat model sedinamis dan semudah mungkin operasionalnya (user friendly), dan pengguna model akan memberi masukan-masukan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

2.2.2 Model Simulasi

Proses merancang model (matematika atau logika) dari suatu sistem dan kemudian menjalankannya untuk mendeskripsikan, menjelaskan, dan menduga (memprediksi) tingkah laku (karakteristik dinamis) sistem.

Simulasi dan Pemodelan

Klasifikasi Model

- preskriptif – deskriptif
- diskret – kontinu
- probabilistik – deterministik
- statik – dinamik
- *loop* terbuka - tertutup

Simulasi sebagai alat Pemecahan Masalah

- Fungsional
 - Analisis Inventori
 - Sistem Distribusi
 - Penjadualan
 - Sistem Antrian
 - Perencanaan
 - Sistem Penanganan Material
 - Permainan
- Setting
 - Pabrik
 - Kesehatan
 - Pemerintahan
 - Administrasi Publik

- Pendidikan
- Industri

Keuntungan dan Kerugian

- tidak ada (sulit) mencari solusi optimal
- model simulasi yang baik mungkin mahal
- asumsi tidak realistis
- formula yang kompleks

Kerugian

- relatif mudah untuk sistem yg kompleks
- sarana pelatihan
- keringkasan dan *closed-form*
- kemudahan evaluasi menuju solusi optimal

Elemen Analisis Simulasi

- Formulasi Masalah
- Pengumpulan Data dan Analisis
- Pengembangan Model
- Verifikasi dan Validasi Model
- Eksperimentasi dan Optimisasi
- Implementasi

Formulasi Masalah

- mengidentifikasi variabel keputusan dan variabel tak- terkendali (*uncontrollable*)
- menspesifikasikan variabel Kendala (*constraint*) pada variabel keputusan
- menentukan ukuran performansi sistem dan fungsi obyektif
- mengembangkan model awal

Pengumpulan Data dan Analisis

- Pengumpulan data pada sistem yang diamati
 - Rancangan
 - Teknis (manual, otomatis)
- Mencari model (probabilitas) yang sesuai dengan sistem

Pengembangan Model

- Memahami sistem

- Konstruksi model
 - Diagram alur (*flowchart*)
 - Pemilihan bahasa pemrograman
 - Bilangan random dan statistik
 - Pemrograman dan *debugging*

Verifikasi dan Validasi Model

- Model: konseptual, logika, komputer
- Verifikasi: internal model (*debugging*)
- Validasi: kecocokan model dengan sistem (kenyataan)

Implementasi

- Penggunaan model simulasi untuk pemecahan masalah pada sistem yang dimodelkan
- Komunikasi antara pengguna dan analis

Bilangan Random

- Digunakan oleh hampir semua model simulasi
- Bilangan random fisik
- Pseudo-random – Bilangan random uniform
- Simulasi Statik atau Monte Carlo

2.2.3 Aliran Fluida

Aliran dapat diklasifikasikan dalam banyak cara seperti turbulent, laminar, nyata, ideal, mampubalik, takmampubalik, stedi, takstedi, seragam, takseragam, rotasional, takrotasional.

Situasi aliran turbulent sangat sering terjadi dalam praktek rekayasa. Dalam aliran turbulent partikel-partikel, (masa-masa molar yang kecil) fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran-pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian lainnya dengan cara yang agak menyerupai perpindahan momentum molekuler dalam skala yang lebih besar. Partikel fluida tersebut dapat berukuran dari sangat kecil (kira-kira beberapa ribu molekul) sampai sangat besar (beribu-ribu foot kubik dalam pusaran yang besar di sungai atau dalam hempasan udara atmosfer) dalam situasi yang alirannya dapat turbulent atau takturbulent (laminar), turbulensi

mengakibatkan tegangan geser yang lebih besar diseluruh fluida dan mengakibatkan lebih banyak ketakmampubalikan (*irreversibilitas*) atau kerugian. Juga, dalam aliran turbulent, kerugian tersebut sebanding dengan kecepatan dipangkatkan kurang lebih 1.7 sampai dengan 2. Dalam aliran laminar, kerugian sebanding dengan kecepatan dipangkatkan satu.

Dalam aliran laminar, partikrl-partikel fluida bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus serta lancar dalam lamina-lamina, atau lapisan-lapisan, dengan satu lapisan meluncur secara mulus pada lapisan yang bersebelahan. Dalam aliran laminar, kerja viskositas meredam kecenderungan-kecenderungan turbulent. Aliran laminar tidak stabil dalam situasi yang menyangkut gabungan viskositas yang rendah, kecepatan yang tinggi atau laluan aliran yang besar, serta berubah menjadi aliran turbulent.

Aliran adiabatik adalah aliran fluida tanpa tanpa terjadinya perpindahan panas ke atau dari fluida. Aliran adiabatik mampu balik (adiabatik tanpa gesekan) disebut aliran isentropik.

Aliran steady terjadi bila di titik manapun didalam fluida tidak berubah dengan waktu. Sebagai contoh, jika kecepatan disuatu titik tertentu adalah 3 m/s dalam arah +x dalam aliran stedi, maka kecepatan tersebut tetap tepat sebesar itu serta dalam arah itu untuk jangka waktu yang tidak terbatas. Hal ini dapat dinyatakan sebagai $\partial v / \partial t = 0$, dengan ruang (koordinat-koordinat x,y,z titik tersebut) ditahan konstan. Demikian pula, dalam aliran stedi tidak terdapat perubahan kerapatan ρ , tekanan p, atau suhu T dengan waktu dititik manapun; jadi,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

Dalam aliran turbulent, dikarenakan oleh gerakan yang tidak teratur dari partikel-partikel fluida, selalu terdapat fluktuasi-fluktuasi kecil yang terjadi di setiap titik.

Aliran adalah tak stedi bila kondisi dititik manapun berubah dengan waktu; $\partial v / \partial t \neq 0$. air yang dipompakan melalui suatu sistem yang tetap dengan laju yang meningkat merupakan contoh aliran tak stedi.

Aliran seragam terjadi bila, di tiap titik, vektor kecepatan adalah sama secara identik (dalam besar serta arahnya) untuk setiap saat tertentu. Dalam bentuk persamaan, $\partial v / \partial t = 0$, dimana waktu ditahan konstan dan ∂s adalah perpindahan dalam arah manapun. Persamaan tersebut menyatakan bahwa tidak terdapat perubahan vektor kecepatan dalam arah manapun diseluruh fluida pada saat kapanpun. Persamaan ini tidak mengatakan apa-apa mengenai perubahan kecepatan di suatu titik terhadap waktu.

Dalam suatu aliran fluida nyata dikonduit terbuka atau tertutup, definisi aliran seragam dapat pula diperluas dalam kebanyakan ikhwil walaupun vektor kecepatan pada batas selalu nol. Bila semua penampang sejajar sepanjang conduit adalah identik (yakni bila, conduit itu prismatik) dan kecepatan rata-rata di setiap penampang adalah sama pada setiap saat tertentu, maka aliran dikatakan seragam.

Aliran yang sedemikian rupa sehingga vektor kecepatan berubah dari tempat kecepatan berubah dari tempat ke tempat pada setiap saat ($\partial v / \partial t \neq 0$) adalah aliran tak seragam. Cairan yang dipompakan melalui pipa lurus yang panjang mempunyai aliran yang seragam. Cairan yang mengalir melalui bagian pipa yang mengecil atau melalui pipa yang bengkok mempunyai aliran yang takseragam.

Contoh-contoh aliran stedi dan takstedi serta aliran seragam dan takseragam adalah: aliran cairan melalui pipa yang panjang dengan laju yang konstan adalah aliran seragam stedi, aliran cairan melalui pipa yang panjang dengan laju yang menurun adalah aliran seragam takstedi, aliran cairan melalui tabung yang membesar dengan laju yang konstan adalah aliran takseragam stedi, aliran cairan melalui tabung yang membesar dengan laju yang menurun adalah aliran takseragam takstedi.

Bilangan Reynold

Aliran laminar deffinisikan aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina. Dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling-tukar momentum secara molekuler saja. Kecenderungan kearah ketakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan. Namun, aliran turbulent mempunyai gerakan

partikel-partikel fluida yang sangat tidak menentu, dengan saling tukar momentum dengan arah melintang yang dahsyat. Sifat pokok aliran, yaitu apakah laminar atau turbulent, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulent terhadap kecenderungan laminar ditunjukkan dengan bilangan Reynold. Dalam abad yang lalu Osborne Reynold telah mempelajari dua aliran tersebut untuk mencoba menentukan bila dua situasi aliran yang berbeda akan serupa.

Dalam menyimak dua situasi aliran yang serupa secara geometrik, Reynold menyimpulkan bahwa aliran-aliran tersebut akan serupa secara identik jika persamaan-persamaan diferensial umum yang menggambarkan aliran-aliran tersebut identik. Dengan mengubah satuan massa, panjang, dan waktu dalam sehimpunan persamaan dan dengan menentukan syarat yang harus dipenuhi agar persamaan-persamaan itu identik dengan persamaan-persamaan yang asli. Reynold mendapatkan bahwa kelompok tanpa dimensi $ul\rho/\mu$ harus sama untuk kedua kasus. Besaran u ialah suatu kecepatan karakteristik, l suatu panjang karakteristik, ρ kerapatan massa, dan μ viskositas, parameter ini kita sebut sebagai bilangan Reynold R ,

$$R = \frac{ul\rho}{\mu}$$

Guna menentukan makna parameter tanpa dimensi tersebut, Reynold melakukan eksperimennya mengenai aliran air melalui tabung kaca.. Sebuah tabung kaca dipasang horizontal dengan satu ujungnya di dalam tangki dan sebuah katup pada ujung lainnya. Pada ujung hulu terpasang lubang masuk lorong-lonceng yang licin, dengan jet zat warna yang diatur, demikian sehingga arus zat warna yang halus dapat disemprotkan di titik setiap di depan corong-lonceng tersebut. Sebagai kecepatan karakteristik Reynold memakai kecepatan rata-rata V dan sebagai panjang karakteristik dipakainya garis tengah tabung D , sehingga $R = VD\rho/\mu$.

Untuk debit yang kecil arus zat warna bergerak melalui tabung itu menuruti garis lurus, hal mana menunjukkan bahwa alirannya laminar. Dengan dinaikkannya kecepatan aliran, maka naiklah bilangan Reynold, karena D , ρ dan μ . Konstan dan V berbanding lurus dengan laju aliran. Dengan meningkatnya

debit, kita mencapai suatu kondisi saat arus zat warna bergoyang dan tiba-tiba terurai serta terbaur keseluruh tabung. Aliran telah berubah menjadi aliran turbulent dengan pertukaran momentumnya yang dahsyat yang telah sepenuhnya mengganggu gerakan teratur aliran laminar. Dengan menanganinya secara hati-hati Reynold telah dapat memperoleh nilai $R = 12.000$ sebelum mulainya turbulensi.

Dengan bertitik-tolak aliran turbulent di dalam tabung kaca tersebut, Reynold menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepatannya diturunkan sedemikian hingga R lebih kecil dari 2000. Inilah bilangan Reynold kritis bawah untuk aliran pipa yang penting artinya dalam praktek. Dengan instalasi pipa yang biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulent dalam daerah bilangan Reynold 2000 sampai 4000. Untuk keperluan pembahasan ini kita mengasumsikan bahwa perubahan tersebut terjadi pada $R = 2000$. Dalam aliran laminar kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata, sedangkan dalam aliran turbulent kerugian sebanding dengan kecepatan dipangkatkan antara 1.7 dan 2.0.

2.2.4 Jaringan Hidrolik

Hubungan yang mendasar dari kekekalan masa dan kekekalan energi secara matematis menjelaskan distribusi aliran dan tekanan dalam sebuah jaringan pipa pada kondisi aliran *steady* (aliran mantap). Untuk mengawali, pembahasan dimulai dari sistem perpipaan seri. Konsep dasar yang diterapkan pada sistem sederhana ini untuk menentukan *flow rate* pada pipa dan tekanan *head* pada *node* yang selanjutnya dikembangkan pada seluruh jaringan.

2.2.5 Sistem Perpipaan Sederhana

Sistem perpipaan sederhana memberikan gambaran awal untuk memahami sistem jaringan perpipaan. Adanya variasi total *head* yang melalui sebuah jaringan dapat dilihat pada rangkaian pipa yang disusun secara seri. Analisis pada pipa yang disusun secara paralel adalah merupakan aplikasi pertama dari kekekalan masa pada *junction* dan kekekalan energi pada rangkaian loop.

❑ Rangkaian Pipa Seri

Seperti ditunjukkan pada gambar 2.1, sebuah jaringan pipa yang disusun secara seri yang memiliki diameter yang berbeda-beda dan juga parameter kekasarannya. Total *headloss* adalah sama dengan jumlah *headloss* pada masing-masing bagian pipa atau:

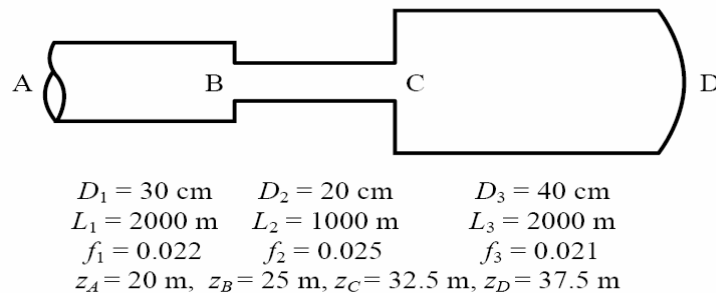
$$h_L = \sum_{l=1}^{lpath} h_{L,l} = \sum_{l=1}^{lpath} K_l Q_l^n \quad (2-1)$$

dimana h_L adalah *headloss*, $lpath$ adalah jumlah pipa dalam rangkaian seri, K_l adalah koefisien untuk pipa l yang mengandung informasi tentang diameter, panjang dan kekasaran pipa, n adalah pangkat dari persamaan *headloss*, dan Q_l adalah *flow rate* pada pipa l .

Jika tidak terjadi pengambilan air pada jaringan pipa, tiap pipa akan memiliki *flow rate* yang sama tapi rata-rata *headloss* pada tiap pipa mungkin akan berbeda. Jika kita menggunakan persamaan *headloss* yang sama (yaitu pangkat n yang sama) kita dapat dapat mengeluarkan Q atau:

$$h_L = \sum_{l=1}^{lpath} K_l Q_l^n = \sum_{l=1}^{lpath} K_l Q^n = Q^n \sum_{l=1}^{lpath} K_l = K_{eq}^s Q^n \quad (2-2)$$

dimana K_{eq}^s adalah nilai ekuivalen koefisien K untuk rangkaian pipa seri. Jika jenis aliran adalah *turbulent* nilai K_l adalah konstan. Nilai ekuivalen tunggal K_{eq}^s dapat dihitung untuk seluruh aliran *turbulent*.



Gambar 2.1. Rangkaian Pipa Seri

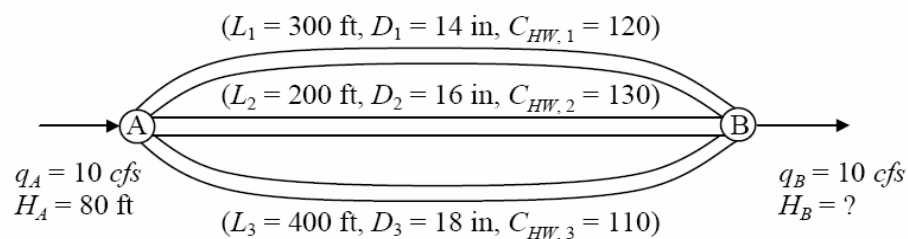
(Sumber: www.mwhsoft.com/page/p_bookstore/cwbsa/Chap5.pdf)

❑ Rangkaian Pipa Paralel

Ketika satu atau lebih pipa berhubungan pada satu lokasi (*junction*), sistem hidrolik akan menjadi lebih menarik. Hubungan dalam jaringan kecil ini merupakan hubungan mendasar yang akan memandu untuk memahami model jaringan penuh. Lokasi A dan B dalam gambar 2.2 menggambarkan *node* atau *junction* dengan beberapa pipa. Kekekalan masa harus dipertahankan pada lokasi ini. Maka dari itu dalam kondisi *steady* aliran yang masuk pada *node* A (10 cfs) harus sama dengan aliran yang keluar pada pipa 1, 2 dan 3. demikian juga aliran yang masuk pada *node* B berupa aliran masuk dari pipa 1, 2 dan 3 harus sama dengan pengambilan dari *node* B (10 cfs).

$$q_A = q_B = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2-3)$$

Dimana Q_1 dan q_j adalah *flow rate* dalam pipa 1 dan pengambilan atau penambahan pada *node* j secara berurutan.



Gambar 2.2. Rangkaian Pipa Paralel

(Sumber: www.mwhsoft.com/page/p_bookstore/cwbsa/Chap5.pdf)

Hubungan kedua yang harus terpenuhi adalah bahwa *headloss* pada pipa 1, 2 dan 3 harus sama. Karena semua berawal dari satu *node* (A) dan semua berakhir pada satu *node* (B) dan perbedaan *head* pada dua *node* tersebut bersifat unik, tanpa memperhatikan karakteristik pipa *headloss* pada pipa adalah sama atau:

$$H_A - H_B = h_{L,1} = h_{L,2} = h_{L,3} = h_L \quad (2-4)$$

Dimana H_A dan H_B adalah total *head* pada *node* A dan *node* B, secara berurutan. $h_{L,1}$ adalah *headloss* pada pipa 1 dan h_L adalah nilai *headloss* tunggal dari *node* A dan *node* B. Persamaan (2-4) adalah sebuah pernyataan kekekalan energi untuk

sebuah pipa dan digunakan dalam beberapa perumusan untuk menyelesaikan aliran dan *head* dalam jaringan secara umum.

Dalam metode solusi jaringan yang lain, kita menulis kekekalan energi untuk loop yang tertutup. Sebuah loop tertutup adalah sebuah jalur pipa yang berawal dan berakhir pada *node* yang sama. Pipa 1 dan 2 sebuah bentuk loop yang tertutup yang berawal dan berakhir pada *node* A. Mulai dari *node* A, melalui jalur pipa, energi, $h_{L,1}$, adalah kehilangan sebagai aliran air dari A ke B. selanjutnya jalur yang kembali ke *node* A menyebabkan loop tertutup. Kita memperoleh energi, $h_{L,2}$, karena kita bergerak pada arah yang berlawanan terhadap arah aliran. Kita dapat menulis persamaan jalur yang membentuk loop seperti berikut:

$$H_A - h_{L,1} + h_{L,2} = H_A \Rightarrow -h_{L,1} + h_{L,2} = 0 \Rightarrow h_{L,1} = h_{L,2} \quad (2-5)$$

Sekarang dengan menggunakan persamaan (2-3) dan persamaan (2-4) atau persamaan (2-5), kita dapat menentukan *headloss* dan *flow rate* untuk tiap pipa dan nilai ekuivalen koefisien pipa, K_{eq}^s . Dalam beberapa sistem jaringan pipa aliran masuk dan aliran keluar pada suatu *node* (q_A dan q_B) dan paling tidak total energi *head* pada satu *node* (H_A dalam kasus ini) harus diketahui untuk memberikan data tekanan *head*. Untuk kondisi aliran *steady* dalam jaringan pada gambar 5.2 keseluruhan kita memiliki tujuh informasi yang belum diketahui. Yaitu total energi pada *node* B (H_B), tiga aliran pipa (Q_1 , Q_2 dan Q_3), dan tiga *headloss* ($h_{L,1}$, $h_{L,2}$, dan $h_{L,3}$).

Persamaan (2-4) memberikan dua persamaan independen yang berhubungan dengan *headloss* ($h_{L,1} = h_{L,2}$ dan $h_{L,2} = h_{L,3}$). Persamaan ketiga adalah *headloss* dalam beberapa pipa adalah sama dan perbedaan *head* terjadi antara *node* A dan B (bagian awal persamaan 2-4). Kekekalan massa pada *node* A (persamaan 2-3) adalah hubungan yang keempat. Persamaan terakhir adalah:

$$h_{L,i} = K_i Q_i^n \text{ atau } Q_i = \left(\frac{h_{L,i}}{K_i} \right)^{1/n} \quad (2-6)$$

Kita dapat mensubstitusikan persamaan 2-6 dalam persamaan keseimbangan massa (persamaan 2-3) dengan h_L sama dengan *head loss* pipa atau:

$$\left(\frac{h_L}{K_1}\right)^{1/n} + \left(\frac{h_L}{K_2}\right)^{1/n} + \left(\frac{h_L}{K_3}\right)^{1/n} = q_A \quad (2-7)$$

Dalam persamaan ini semua variabel kecuali h_L adalah diketahui. Setelah menyelesaikan h_L , aliran pipa yang belum diketahui dapat dihitung dengan persamaan 2-6 dan H_B dapat ditentukan dengan persamaan 2-4.

Seperti halnya pada jaringan pipa seri, sebuah nilai ekuivalen koefisien pipa dapat dihitung untuk pipa paralel. Dalam persamaan 2-7 h_L dapat ditarik dari setiap variabel pada sisi sebelah kiri atau untuk pelepasan umum tiga pipa paralel.

$$\left[\left(\frac{1}{K_1}\right)^{1/n} + \left(\frac{1}{K_2}\right)^{1/n} + \left(\frac{1}{K_3}\right)^{1/n}\right] h_L^{1/n} = q \quad (2-8)$$

Kemudian nilai ekuivalen koefisien

$$\left(\frac{1}{K_1}\right)^{1/n} + \left(\frac{1}{K_2}\right)^{1/n} + \left(\frac{1}{K_3}\right)^{1/n} = \left(\frac{1}{K_{eq}^p}\right)^{1/n} = \sum_{l=1}^{lp} \left(\frac{1}{K_l}\right)^{1/n} \quad (2-9)$$

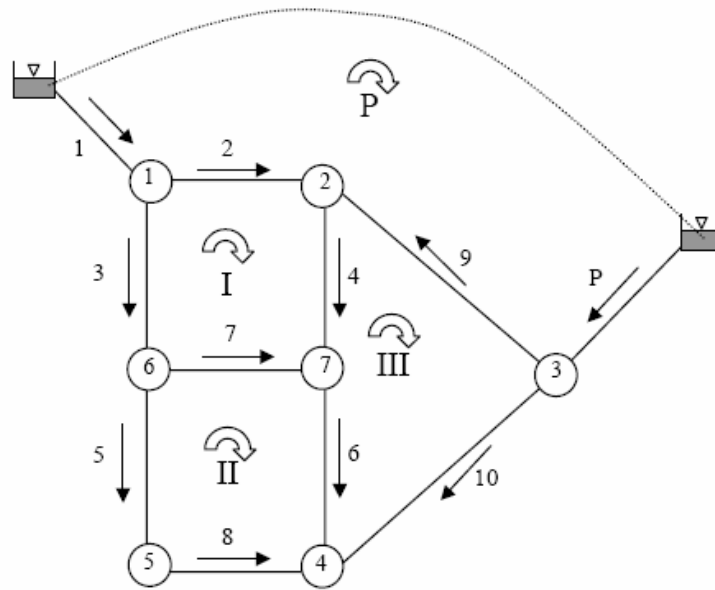
Dimana K_{eq}^p nilai ekuivalen koefisien pipa untuk rangkaian pipa paralel. Seperti ditunjukkan dalam persamaan terakhir, persamaan 2-9 dapat digeneralisasi untuk pipa paralel lp .

Headloss antara dua *node* adalah:

$$h_L = K_{eq}^p (Q_{total})^n \quad (2-10)$$

❑ Rangkaian Pipa bercabang

Analisis pipa bercabang melibatkan persamaan-persamaan yang lebih kompleks lagi. Misalnya untuk kasus seperti gambar 3.3 dimana pipa-pipa terangkaiscara paralel dan juga pada tiap titik mengalami percabangan.



Gambar 2.3. Analisis Pipa Bercabang

(Sumber: www.mwhsoft.com/page/p_bookstore/cwbsa/Chap5.pdf)

Headloss pada loop-loop tertutup yaitu loop I, II dan III adalah nol karena loop berawal dan berakhir pada *node* yang sama dan *node* memiliki total *head* yang unik. Sebuah *pseudo-loop* ditunjukkan antara dua *reservoir* dengan perbedaan energi antara dua lokasi adalah 200 feet. Arah loop positif didefinisikan untuk semua loop yang searah jarum jam. Dengan asumsi arah aliran seperti pada gambar 2.3 diatas, persamaan-persamaan loop yang terbentuk adalah:

Untuk loop P (*pseudo-loop*) berawal dari *reservoir* I dan diteruskan melalui jalur hingga *reservoir* II.

$$\text{Loop P: } -K_1 [Q_1]^{1.852} - (K_2 [Q_2]^{1.852}) + (K_9 [Q_9]^{1.852}) - (240 - 0.9376 Q_p^2) = H_{\text{res},2} - H_{\text{res},1} = 0 - 200 = -200.$$

Kita telah membuat kesepakatan tanda relatif terhadap loop dan asumsi arah aliran awal. Pipa 1 diasumsikan mengalir dalam arah berlawanan jarum jam relatif terhadap loop P dan konsisi tersebut diberi tanda negatif. Aliran positif pada pipa 1 menunjukkan bahwa arah aliran adalah dari *reservoir* menuju *node* 1. Jika arah aliran yang diasumsikan ternyata salah dan aliran yang sebenarnya adalah dari *node* 1 menuju ke *reservoir* melalui pipa 1, maka tanda aliran akan negatif. Pada kasus ini, *headloss* pada pipa 1 pada loop P adalah positif.

Pipa 9 diasumsikan mengalir dari *node* 3 menuju *node* 2 yang mana positif relatif terhadap loop P sehingga *headloss* juga positif. Arah aliran yang melalui pompa adalah searah jarum tapi pompa memberikan tambahan *head* sehingga pompa diberi tanda negatif. Tidak ada kesepakatan tanda yang diterapkan pada pompa karena pompa hanya bisa bertanda selain negatif, yaitu positif atau nol.

Untuk loop III berawal dan berakhir pada *node* 3:

$$\text{Loop III: } +K_{10}[Q_{10}]^{1.852} - (K_4[Q_4]^{1.852}) - (K_8[Q_8]^{1.852}) - (K_9[Q_9]^{1.852}) = H_3 - H_3 = 0.$$

Sekali lagi, tanda positif diberikan untuk aliran yang bergerak searah jarum jam relatif terhadap loop. Sehingga pipa 9 adalah positif relatif terhadap loop P akan tetapi negatif relatif terhadap loop III.

Untuk loop II berawal dan berakhir pada *node* 6:

$$\text{Loop II: } +K_7[Q_7]^{1.852} + (K_6[Q_6]^{1.852}) - (K_8[Q_8]^{1.852}) - (K_5[Q_5]^{1.852}) = H_6 - H_6 = 0.$$

Takhir, loop I berawal dan berakhir pada *node* 1:

$$\text{Loop I: } +K_2[Q_2]^{1.852} + (K_1[Q_1]^{1.852}) - (K_7[Q_7]^{1.852}) - (K_3[Q_3]^{1.852}) = H_1 - H_1 = 0.$$

Beberapa pipa terlihat dalam dua loop memiliki tanda negatif pada persamaan satu loop dan tanda positif pada persamaan loop yang lain. Ketetapan ini harus tetap diperhatikan ketika dilakukan perbaikan.

2.2.6 Algoritma Persamaan Loop Untuk Aliran *Steady*

❑ Metode Hardy Cross (Algoritma Penyesuaian Loop Tunggal)

Metode penyelesaian yang tertua dan juga paling terkenal untuk jaringan pipa adalah metode *hardy cross* yang bisa ditemukan pada kebanyakan *textbooks* dan diajarkan dalam perkuliahan (Cross, 1936). Metode ini menyelesaikan persamaan energi pada loops maupun pseudo-loops dengan menggunakan koreksi aliran loop. Meskipun rangkaian persamaan loop harus dipecahkan untuk suatu

sistem, namun algoritma ini dikembangkan untuk bisa diselesaikan dengan perhitungan manual dan penyelesaiannya bertahap satu persatu hingga selesai seluruh loop. Satu persamaan loop tertutup untuk masing-masing loop. Untuk loop tertutup yang hanya terdiri dari jaringan pipa, persamaan loop untuk loop LP adalah:

$$F_{LP}(Q) = \sum_{l \in \text{loop}} K_l [Q_l]^n \quad (2-11)$$

Dalam persamaan ini, ada penerapan tanda khusus untuk Q_l , dan pangkat n adalah nilai absolut. tanda didasarkan pada arah aliran pada pipa relatif terhadap loop.

Karena *flow rate* yang memenuhi serangkaian persamaan loop belum diketahui, persamaan loop dikembangkan dengan urutan *taylor* pada order pertama atau:

$$\begin{aligned} F_{LP}(Q^m) &= F_{LP}(Q^{m-1}) + \sum_{l \in \text{loop}} (Q^m - Q^{m-1}) \frac{dF_{LP}}{dQ_l} \\ &= \sum_{l \in \text{loop}} K_l [Q^{m-1}]^n + \sum_{l \in \text{loop}} (Q^m - Q^{m-1}) \frac{dF_{LP}}{dQ_l} \end{aligned} \quad (2-12)$$

Dimana Q^{m-1} adalah perkiraan aliran pada iterasi $m-1$ dan $\partial F_{LP} / \partial Q_l$ adalah turunan LP (LP^{th}) pada persamaan loop terhadap aliran pipa l^{th} . Q_l didefinisikan oleh $\Delta Q = Q^m - Q^{m-1}$ selanjutnya disubsitusikan dalam persamaan 2-12:

$$F_{LP}(Q^{m-1}) + \Delta Q \sum_{l \in \text{loop}} \left. \frac{dF_{LP}}{dQ_l} \right|_{Q^{m-1}} = 0 \Rightarrow \Delta Q = - \frac{F(Q^{m-1})}{\sum_{l \in \text{loop}} \left. \frac{dF_{LP}}{dQ_l} \right|_{Q^{m-1}}} \quad (2-13)$$

Metode Hardy Cross adalah penyederhanaan penentuan nilai koreksi dengan pertimbangan tiap-tiap loop adalah independen dari keseluruhan rangkaian loop yang bersifat simultan. Karena nilai koreksi untuk semua pipa dalam sebuah loop harus sama, maka nilai ΔQ ditentukan dengan persamaan 2-13. Nilai pembilang dihitung dengan dari persamaan 2-13 dengan penyesuaian tanda untuk arah aliran. Ketetapan standar adalah tanda positif untuk arah aliran searah jarum jam untuk

tiap-tiap loop. Jika $F(Q)$ telah sama dengan nol maka perhitungan persamaan telah selesai.

Penyebut dalam persamaan diatas adalah jumlah nilai absolut dari turunan persamaan 2-11 yang dievaluasi pada Q^{m-1} . nilai gradien masing-masing adalah:

$$\frac{dF}{dQ} = \frac{d(K(Q + \Delta Q))^n}{dQ} \Big|_{Q^{m-1}} = nKQ^{n-1} = nh_L / Q \quad (2-14)$$

untuk loop LP persamaan 2-13 menjadi:

$$\Delta Q_{LP} = - \frac{\sum_{l \in lloop} K_l Q_l^n}{\sum_{l \in lloop} n K_l [Q_l]^{n-1}} = - \frac{\sum_{l \in lloop} K_l Q_l^n}{\sum_{l \in lloop} n K_l [Q_l]^n / Q} = - \frac{\sum_{l \in lloop} K_l Q_l^n}{\sum_{l \in lloop} n |h_{L,l} / Q|} \quad (2-15)$$

nilai penyebut selalu bernialai absolut karena tanda h_L dan Q_l adalah sama.

Persamaan yang mirip dapat ditulis untuk masing-masing loop pada jaringan. Karena order pertama urutan Taylor digunakan untuk memperkirakan sebuah persamaan non linier, satu kali koreksi sepertinya belum akan diperoleh nilai aliran yang benar dan proses harus diulang hingga semua persamaan loop telah memenuhi batas toleransi yang diinginkan.

Secara ringkas algoritma Hardy Cross meliputi beberapa tahapan berikut:

1. Tentukan loop dan mulai $m = 0$. Asumsi kondisi awal rangkaian aliran pipa memenuhi hukum kekekalan masa untuk semua *node*. Catatan bahwa koreksi terhadap loop akan tetap menjaga hukum ini setelah step yang awal diselesaikan.
2. Lanjutkan $m = m + 1$
3. Hitung total *headloss* pada sebuah loop dengan menyelesaikan persamaan 2-11 untuk tiap-tiap loop dengan mensubsitusikan Q^{m-1} untuk Q . Nilai total ini adalah pembilang pada persamaan 2-15
4. Hitung penyebut dari persamaan untuk tiap-tiap loop. Catatan bahwa penyebut adalah total nilai absolut dari $n h_L/Q$ pada rangkaian pipa dalam loop, lloop.
5. Hitung koreksi untuk loop ΔQ_{LP} , dengan menyelesaikan persamaan 2-15.
6. Ulangi langkah 3-5 untuk tiap-tiap loop

7. Terapkan faktor koreksi untuk semua pipa l atau :

$$Q_l^m = Q_l^{m+1} \pm \sum_{lp \in ncp(l)} \Delta Q_{lp}$$

dimana $ncp(l)$ adalah rangkaian satu atau dua loop pada jaringan yang memiliki pipa l.

8. Koreksi jika semua nilai ΔQ kurang dari batas nilai toleransi terkecil maka perhitungan selesai, jika belum maka kembali pada langkah 2.

□ Penyelesaian Persamaan Loop Simultan (Algoritma Penyesuaian Aliran Loop Simultan)

Pada metode Hardy Cross, tiap-tiap koreksi loop ditentukan secara terpisah (independen) dengan rangkaian loop yang lain. Padahal beberapa loop mungkin memiliki pipa yang sama sehingga koreksi untuk loop tersebut akan mempengaruhi energi yang hilang pada lebih dari satu loop. Epp dan Fowler (1970) mengembangkan sebuah pendekatan yang lebih efisien dengan perhitungan nilai koreksi untuk semua loop secara simultan. Sebagai mana pada metode Hardy Cross, dibutuhkan sebuah solusi awal yang memenuhi kontinuitas pada semua *node*. Untuk penyelesaian persamaan loop simultan persamaan 2-11 untuk loop LP menjadi:

$$F_{LP}(Q) = \sum_{l \in lloop} K_l \left[Q_l^{m-1} + \sum_{lp \in ncp(l)} \Delta Q_{lp} \right]^n = 0 \quad (2-16)$$

dimana $ncp(l)$ adalah rangkaian satu atau dua loop pada jaringan yang memiliki pipa l. Ketetapan tanda pada aliran pipa yang relatif terhadap loop adalah sama seperti pada metode Hardy Cross. Metode Newton-Rapshon kemudian digunakan untuk menyelesaikan persamaan 2-16 untuk penyelesaian ΔQ . Sebuah sistem persamaan linier sekarang harus diselesaikan dengan tahapan iterasi tidak seperti persamaan tunggal pada metode Hardy Cross.

Order pertama urutan Taylor yang diperkirakan untuk persamaan 2-16 pada loop LP adalah:

$$\left(\sum_{l \in lloop} \frac{dF_{LP}}{d(\Delta Q_{lp})} \Big|_{Q^{m-1}} \right) \Delta Q_{LP} + \sum_{lp \in ncl(LP)} \left(\frac{dF_{LP}}{d(\Delta Q_{lp})} \Big|_{Q^{m-1}} \Delta Q_{lp} \right) = -F_{LP}(Q^{m-1}) \quad (2-17)$$

dimana $ncl(LP)$ adalah rangkaian loop yang memiliki pipa bersama dengan loop LP. Secara vektor bentuk semua loop secara simultan seperti persamaan 2-17 dapat ditulis sebagai :

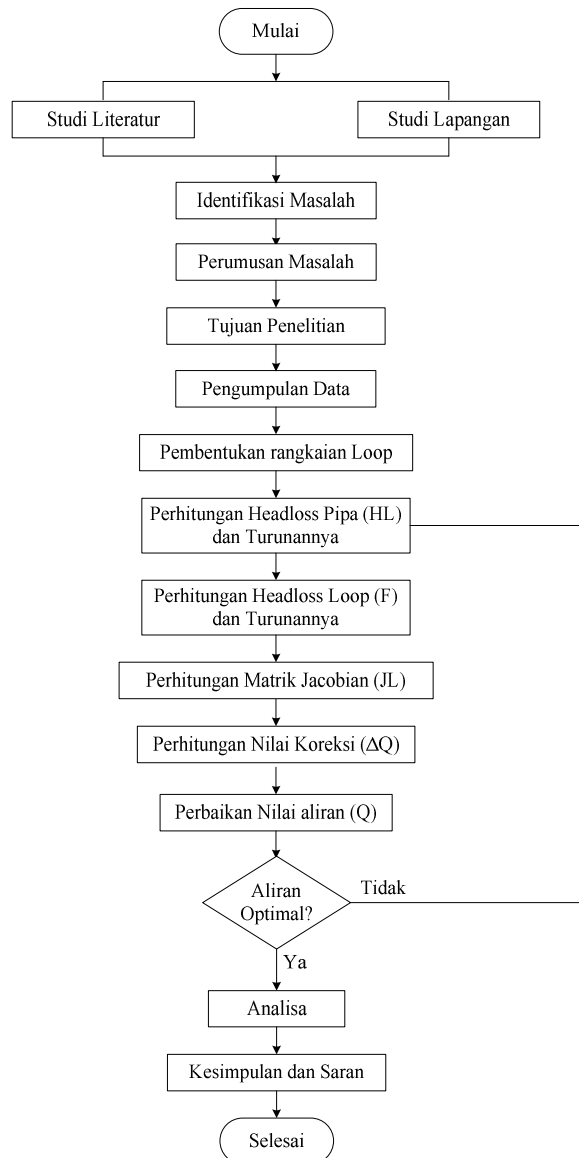
$$J_L \Delta Q = -F(Q^{m-1}) \quad (2-18)$$

Dimana Q^{m-1} adalah vektor dari aliran pipa $npipe$, ΔQ adalah $[1 \times (nloop+nploop)]$ vektor dari koreksi aliran loop dan $F(Q^{m-1})$ adalah $[1 \times (nloop+nploop)]$ vektor residual dari kekekalan energi pada loop yang dievaluasi pada Q^{m-1} . Residual adalah nilai sisi sebelah kanan pada nilai percobaan Q . Tujuannya adalah agar semua persamaan sama dengan nol yang berarti semua persamaan loop telah terpenuhi.

J_L sama dengan $\partial F / \partial \Delta Q$ adalah matrik jacobian pada turunan pertama dari persamaan loop yang dievaluasi pada Q^{m-1} . J_L adalah matrik persegi $[(nloop+nploop) \times (nloop+nploop)]$, simetrik dan pasti positif. Baris pada J_L menunjukkan persamaan loop dan kolom berhubungan dengan koreksi loop.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1. Langkah-Langkah Pelaksanaan Penelitian

3.1 TAHAP PENDAHULUAN

3.1.1 Studi Literatur

Dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran mengenai teori-teori dan konsep-konsep yang mendasar tentang permasalahan dalam penelitian sehingga hasil yang didapat akan bersifat ilmiah. Studi literatur yang diperlukan meliputi studi tentang mekanika fluida, sistem jaringan distribusi, sistem distribusi air, pemodelan sistem, penggunaan model simulasi dan program aplikasi Epanet.

3.1.2 Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui apakah permasalahan yang telah dirumuskan memang benar sesuai dengan kondisi sesungguhnya yang terjadi di lapangan. Dengan studi lapangan ini permasalahan akan mulai tampak dengan ditemukannya ketidaksesuaian sasaran yang ingin dicapai dengan kondisi real yang terjadi. Melakukan pengamatan langsung terhadap objek yang diteliti, dalam hal ini sistem distribusi air, jaringan perpipaan, fluktuasi konsumsi oleh pelanggan, pengamatan mekanika fluida, dsb.

3.1.3 Identifikasi Masalah

Masalah dapat didefinisikan sebagai suatu pertanyaan yang diinginkan untuk dipecahkan. Masalah inilah yang menyebabkan sasaran dari sistem tidak dapat dicapai. Pada tahap ini dilakukan studi pendahuluan tentang sistem dan prosedur untuk memperoleh gambaran kegiatan pengelolaan distribusi air yang dilakukan oleh PDAM Kota Surakarta. Hal ini dilakukan untuk mengetahui permasalahan apa yang terjadi dan ingin diangkat dalam penelitian. Untuk dapat mengidentifikasi masalah, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

A. Informasi dari sumber-sumber tertulis

Sumber informasi yang utama diperoleh dari situs PDAM Kota Surakarta yang alamatnya <http://www.pdamsolo.or.id/>. Selain itu sumber informasi juga berasal dari artikel-artikel atau jurnal-jurnal yang dikeluarkan oleh PDAM Kota Surakarta ataupun yang membahas tentang PDAM Surakarta.

B. Wawancara

Melakukan wawancara dengan orang yang terkait langsung dengan objek yang diteliti, guna mencari kejelasan mengenai permasalahan sistem yang sedang dihadapi. Wawancara harus dilakukan dengan orang yang benar-benar paham dengan permasalahan kehilangan air yang terjadi. Dalam hal ini wawancara dilakukan dengan Kepala Bagian Perencanaan PDAM Kota Surakarta Bp. Maryono dan staf-stafnya yang merupakan bagian yang menangani secara langsung program perencanaan dan pengendalian. Dengan semakin baik dalam mengidentifikasi masalah, maka diharapkan semakin baik pula penyelesaian masalah yang nantinya dilakukan.

3.1.4 Perumusan Masalah

Setelah dilakukan identifikasi masalah maka langkah berikutnya melakukan perumusan masalah berkaitan dengan topik yang diambil dalam penelitian. Pada tahapan ini dilakukan perumusan berkaitan dengan pemodelan aliran air bersih pada pipa jaringan distribusi Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surakarta.

3.1.5 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah yang telah ada selanjutnya ditetapkan tujuan yang akan dicapai sehingga arah penelitian akan menjadi jelas. Adapun tujuan yang akan dicapai yaitu mengetahui model distribusi air bersih pada pipa jaringan distribusi PDAM Surakarta, yaitu untuk mengetahui beberapa hal berikut ini:

1. *Besar* dan arah aliran air pada masing-masing pipa.
2. Kecepatan aliran air pada masing-masing pipa.
3. *Head* (energi persatuan berat air) dan tekanan air pada masing-masing titik.
4. *Headloss* (kehilangan energi) air selama melewati suatu jaringan pipa.
5. Keseimbangan antara *supply* dan *demand* pada masing-masing *node* (titik pengambilan air)
6. Besar kehilangan air (kebocoran) pada seluruh sistem jaringan.

Apabila arah penelitian jelas maka akan mudah dalam menginterpretasikan tujuan melalui serentetan kegiatan yang nantinya akan dilaksanakan.

3.2 TAHAP PENGOLAHAN DATA

3.2.1 Pengumpulan Data

Meliputi pengumpulan informasi yang berisi data-data yang diperlukan untuk penyelesaian masalah dan pengolahan data secara bertahap. Semua data yang dikumpulkan berupa data sekunder yang diperlukan dalam pemodelan jaringan distribusi air bersih PDAM Surakarta. Data-data tersebut meliputi, data jaringan perpipaan Distrik Sondakan, data pemakaian air oleh pelanggan, data pengukuran meter induk, dan data pola pemakaian air.

3.2.2 Pemodelan Jaringan Distribusi Air

Pemodelan sistem jaringan distribusi merupakan pemetaan lokasi Kawasan Sondakan yang meliputi pemodelan peta Lokasi dan pemodelan sistem aliran air pada jaringan. Pemodelan ini diperlukan untuk mempermudah dalam menganalisa permasalahan yang terjadi di lapangan karena permasalahan sudah tercakup dalam model yang dibuat.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas bagaimana bisa diperoleh hasil-hasil penyelesaian model aliran air, maka penyelesaian akan dilakukan secara manual setahap demi setahap sehingga akan memberikan pemahaman kepada kita dalam penyelesaian permasalahan aliran air dalam suatu sistem jaringan perpipaan.

Ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam penyelesaian persamaan-persamaan jaringan perpipaan. Antara lain metode *Hardy Cross (single loop adjustment algorithm)* dan metode *Simultaneous Loop Equation (Simultaneous Loop flow adjustment method)*. Metode yang nantinya digunakan *Simultaneous Loop Equation* namun karena perhitungan awal juga menggunakan metode *Hardy Cross* maka kedua metode ini nantinya akan digunakan secara bersamaan dan saling melengkapi.

Berikut ini adalah langkah-langkah yang digunakan dalam penyelesaian persamaan-persamaan aliran dalam jaringan distribusi air untuk Wilayah Sondakan.

A. Menentukan Rangkaian Loop:

Step yang pertama adalah menentukan rangkaian loop. 12 loop diidentifikasi pada sistem jaringan. Ada duabelas rangkaian loop pada jaringan perpipaan di Wilayah Sondakan. Selanjutnya keduabelas loop tersebut dibuat persamaannya masing-masing. Kemudian memasukkan nilai parameter awal berupa aliran (Q) yang ditentukan secara random dan juga menghitung nilai koefisien untuk masing-masing pipa dengan rumus:

$$K = 4.73 \frac{L}{D^{4.48} C_{HW}^{1.85}}$$

Dimana Q dalam cfs (cubic feet persecond), D dan L dalam ft (feet)

B. Menghitung *headloss* Pipa (HL) dan Turunannya:

Menghitung *headloss* pada tiap pipa (HL) dengan menggunakan rumus:

$$h_L(Q) = F_{LP}(Q) = \sum_{l \in loop} K_l |Q_l|^n$$

dan menghitung pula nh_L/Q . dimana $F_{LP}(Q) = headloss$ pada pipa l, K_l = koefisien pipa l, Q_l = aliran dari iterasi/asumsi sebelumnya pada pipa l, pangkat $n = 1.85$, dan n pada nh_L/Q adalah banyaknya pipa pada loop P.

C. Menghitung *headloss* Loop (F) dan Turunannya:

Menghitung jumlah *headloss* pada tiap-tiap loop (F) dengan menggunakan nilai hasil perhitungan *headloss* pipa dan menghitung jumlah nilai absolut dari turunannya

$$\sum_{l \in loop} n |h_{L,l} / Q_l|$$

dimana $\sum_{l \in loop}$ adalah semua pipa yang terkait pada loop P.

D. Persamaan Matruk Jacobian (J_L):

Merumuskan matrik Jakobian (J_L) dari keseluruhan rangkaian loop yang terbentuk pada model jaringan. Koefisien matrik jacobian adalah gradien dari persamaan loop yang berhubungan dengan koreksi aliran tiap-tiap loop.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & - & - & \frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_{13})} \\ \frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & - & - & \frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_{13})} \\ \frac{\partial F_3}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_3}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_3}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & - & - & \frac{\partial F_3}{\partial(\Delta Q_{13})} \\ \frac{\partial F_4}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_4}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_4}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - & \frac{\partial F_{11}}{\partial(\Delta Q_{13})} \\ - & - & - & - & - & - & - & \frac{\partial F_{12}}{\partial(\Delta Q_{13})} \\ \frac{\partial F_{13}}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_{13}}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_{13}}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & \frac{\partial F_{13}}{\partial(\Delta Q_{11})} & \frac{\partial F_{13}}{\partial(\Delta Q_{12})} & \frac{\partial F_{13}}{\partial(\Delta Q_{13})} \end{bmatrix}$$

Nilai diagonal adalah identik dengan penyebut pada nilai koreksi untuk tiap loop pada Hardy Cross.

$$\frac{\partial F_{Ll}}{\partial(\Delta Q_{Ll})} = \sum_{l \in loop} n \left| \frac{h_{L,l}}{Q_l} \right|$$

Dan nilai selain diagonal adalah nilai turunan headloss pipa (nh_L/Q) yang dimasukkan pada persamaan-persamaan loop yang saling berhubungan.

E. Menghitung Nilai koreksi (ΔQ):

Menghitung besarnya koreksi pada masing-masing loop (ΔQ) dengan persamaan penyelesaian matrik jacobian (J_L. ΔQ = -F)

F. Perbaikan Nilai Aliran (ΔQ):

Selanjutnya nilai koreksi tersebut digunakan sebagai perbaikan terhadap aliran awal dengan memasukkannya pada sistem persamaan. Jika nilai koreksi aliran loop masih besar maka lanjut ke-iterasi berikutnya agar diperoleh hasil aliran yang optimal. Untuk melanjutkan ke iterasi berikutnya maka dimulai lagi dengan menghitung *headloss* pipa.

3.2.3 Simulasi Model Jaringan

Simulasi model jaringan dengan menggunakan *software* Epanet. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana distribusi aliran air bersih yang terjadi pada jaringan, berapa besar air bersih yang mampu disuplai oleh sumber, berapa besar pemakaian air oleh pelanggan dan bagaimana pola pemakaian tersebut. Tahap-tahap yang dilakukan untuk memodelkan simulasi dengan Epanet adalah meliputi:

A. Setting Komponen

Setting komponen meliputi *setting* komponen fisik dan *setting* komponen non fisik. *Setting* komponen fisik adalah penentuan nilai-nilai parameter pada komponen fisik yang diperlukan dalam jaringan termasuk membuat model gambar dari sistem jaringan yang ada. Epanet memodelkan sebuah sistem distribusi air berupa serangkaian jalur-jalur yang dihubungkan dengan *node-node*. Sebuah jalur bisa mewakili komponen pipa, pompa, dan katup. Sedangkan *node* mewakili komponen *junction* (persimpangan), *tank* (bak penampung) dan *reservoir*.

Setting komponen non fisik adalah penentuan nilai-nilai parameter berupa penentuan karakteristik sifat tertentu yang terjadi pada sistem jaringan. Epanet menggunakan tiga jenis informasi untuk obyek – kurva, pola, dan kontrol – yang menggambarkan kondisi kerja dan aspek operasi dari sebuah sistem distribusi.

Komponen non fisik yang diterapkan untuk sistem jaringan distribusi di Kelurahan Sondakan berupa pemakaian kurva pompa untuk membangkitkan besarnya aliran yang masuk pada sistem jaringan yang nantinya ditetapkan sebagai sumber supply air bersih. Komponen non fisik yang lain adalah pemakaian

pola *demand* untuk *node* yang diterapkan dengan menggunakan variasi *multiplier*. Dengan adanya pola ini maka *demand* air berubah untuk tiap periode satu jam.

B. Model Simulasi Hidrolik

Hasil model simulasi hidrolik epanet berupa *head* pada *juntions*, aliran *link* untuk level *reservoir* dengan *setting* tetap, level pada *tank*, dan *demand* air selama bisa terpenuhi pada suatu *node*. Solusi *head* dan aliran untuk suatu *node* tertentu selama waktu simulasi melibatkan penyelesaian secara simultan persamaan-persamaan untuk *juntions* dan *link* dalam jaringan.

Model jaringan akan disimulasikan dalam dua tahap untuk memberikan gambaran secara jelas bagaimana simulasi ini bisa digunakan untuk mendeteksi adanya kebocoran pada jaringan. dua tahap simulasi tersebut adalah:

- Simulasi Sistem Keseluruhan

Simulasi sistem secara keseluruhan adalah mensimulasikan kondisi sistem distribusi yang ada saat ini. Dari sini diperoleh gambaran secara jelas apakah terjadi keseimbangan ataukah terjadi kebocoran dalam sistem jaringan.

- Simulasi Step Area

Simulasi step area membagi keseluruhan jaringan menjadi beberapa area yang lebih kecil yang disebut dengan step area. Simulasi step area bisa dilakukan bila ternyata diketahui bahwa telah terjadi kebocoran pada jaringan melalui simulasi secara keseluruhan. Bila ternyata sistem jaringan telah seimbang dan tidak terjadi kebocoran maka simulasi step area ini tidak akan dilakukan. Dengan adanya simulasi pada masing-masing step area maka akan diketahui area-area mana saja yang terjadi kebocoran dan berapa besar tingkat kebocoran tersebut.

Simulasi step area ini hanyalah berupa usulan pada pihak PDAM Surakarta dalam rangka untuk mendeteksi dimana area-area yang memiliki tingkat kebocoran tinggi. Simulasi ini tidak akan dilakukan dalam penelitian ini walaupun memang terjadi kebocoran dalam sistem jaringan, karena harus melibatkan banyak pihak, dan mengganggu sistem distribusi aliran untuk sementara waktu. Dalam simulasi ini harus dilakukan penutupan beberapa

katup yang memisahkan masing-masing step area dari jaringan secara keseluruhan.

Dari step area yang mempunyai tingkat kebocoran tinggi selanjutnya oleh pihak PDAM bisa dilakukan perbaikan pada sistem jaringan distribusinya. Perbaikan dapat berupa penggantian pipa, perbaikan sambungan, penggantian meter air, dsb.

3.3 TAHAP ANALISA DAN INTERPRETASI HASIL

Analisis dilakukan terhadap topik pembahasan pemodelan aliran air pada jaringan distribusi Wilayah Sondakan seperti yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Apakah kondisi yang digambarkan tersebut benar-benar dapat mewakili kondisi sistem jaringan distribusi yang sesungguhnya.

3.4 TAHAP KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat hasil-hasil kesimpulan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan. Dan juga saran-saran yang bermanfaat guna meningkatkan kualitas pelayanan PDAM Kota Surakarta.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 PENGUMPULAN DATA

Dengan data yang dikumpulkan akan memberikan gambaran kondisi jaringan. Kondisi jaringan adalah gambaran kondisi sistem jaringan distribusi secara real yang saat ini ada di kawasan Kelurahan Sondakan sebagai lokasi penelitian. Kondisi jaringan menggambarkan kondisi peta wilayah, kondisi jaringan perpipaan, dan kondisi pelayanan pelanggan.

4.1.1 Lokasi penelitian

Wilayah distribusi PDAM Surakarta yang digunakan sebagai lokasi penelitian merupakan bagian dari wilayah Kelurahan Sondakan kecamatan Laweyan.

Batas-batas wilayah adalah sebagai berikut:

- Sebelah utara : Jl. Slamet Riyadi
- Sebelah selatan : Jl. Dr Radjiman
- Sebelah barat : Jl. Agus Salim
- Sebelah timur : Jl. Perintis Kemerdekaan

Luas keseluruhan wilayah Sondakan adalah kurang lebih 37,334 Ha. Peta lokasi dapat dilihat pada lampiran 8 dan lampiran 9.

4.1.2 Kondisi Fisik Jaringan

Jaringan pipa distribusi air bersih di wilayah Sondakan, berdasarkan fungsinya dibedakan menjadi :

- Pipa primer/induk dengan diameter 300 mm jenis ACP
- Pipa sekunder dengan diameter antara 100 mm – 200 mm jenis PVC dan CI
- Pipa tersier dengan diameter 50 mm – 75 mm jenis PVC dan CI
- Pipa dinas dengan diameter 0,5 inchi – 1 inchi dari jenis GI dan PVC

Peta jaringan pipa di wilayah Sondakan dapat dilihat pada lampiran 10. Karakteristik pipa yang berada di wilayah Sondakan adalah seperti terlihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1. Kondisi Jaringan Pipa Distribusi di Wilayah Sondakan.

No	Lokasi	Dia (mm)	Panjang pipa (m)			Tahun pasang	kondisi
			AC	CI	PVC		
1	Jl. Agus Salim, Jl. Samanhudi	300	820			1978	Karet disambungan sudah aus
2	Jl. Perintis kemerdekaan	150		755		1928	Sudah terkorosi
3	Jl. Kabangan	60		130		1928	Sudah terkorosi
4	Jl. Agus Salim Jl. Dr. Radjiman	200			1060	1978	Masih bagus
5	Jl. Parang Kusumo, P Kesit, P Liris, P Parung, P Klitik	100			2075	1978	Masih bagus
6	Jl. Parang Baris	75			585	1978	Masih bagus
7	Jl. Parang Kusumo III, Parang Kusumo IV	50			330	1978	Masih bagus

Sumber: Data PDAM Surakarta

Berdasarkan pengamatan dan informasi dari PDAM , ada beberapa pipa dilokasi wilayah Sondakan yang perlu mendapatkan penanganan serius yaitu sebagai berikut:

- Pipa ACP dia 300 mm yang sering terjadi bocor terutama pada bagian sambungan pipa, oleh karena:
 - Karet seal pada sambungan sudah aus mengingat umur pipa sudah cukup tua. Untuk mengganti karet seal tersebut harus disertai dengan penggantian *repair joint*, karena baut pada *repair* tersebut juga sudah aus dan tidak bisa dibuka sehingga harus dipotong.
 - Kondisi tanah relatif tidak stabil, sehingga bila terjadi pergeseran tanah atau gempa bumi dapat mengakibatkan bergesernya sambungan (*repair joint*)
- Pipa CI dia 150 mm yang sering terjadi bocor
Kondisi ini terjadi karena umur pemasangan pipa yang memang sudah cukup lama (lebih dari 30 tahun) maupun karena pipa terkorosi.
- Adanya beberapa sambungan rumah (di Jl. Samanhudi terdapat 26 sambungan rumah (SR) yang langsung ditapping dari pipa primer ACP dia 300 mm.

Data jaringan perpipaan yang digunakan dalam pengolahan data, dengan model simulasi epanet selengkapny dapat dilihat pada lampiran 3.

4.1.3 Jumlah Pelanggan

Jumlah pelanggan di wilayah Sondakan berdasarkan data bulan juni 2006 adalah sebanyak 277 pelanggan. Jumlah dan jenis pelanggan adalah seperti terlihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Jumlah dan Jenis Pelanggan di Wilayah Sondakan Tahun 2006

Jenis Pelanggan	Jumlah Pelanggan (unit)					
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	juni
1. Sosial Umum	1	1	1	1	1	1
2. Soaial Khusus	6	6	6	6	6	6
3. Rumah Tangga I	0	0	0	0	0	0
4. Rumah Tangga II	111	113	113	114	114	114
5. Rumah Tangga III	21	21	21	21	21	21
6. Rumah Tangga IV	37	37	37	37	37	37
7. Pemerintahan	1	1	1	1	1	1

8. Sekolah	0	0	0	0	0	0
9. Niaga I	95	95	95	96	96	96
10. Niaga II	1	1	1	1	1	1
Jumlah	273	275	275	277	277	277

Sumber: Data PDAM Surakarta

Keterangan:

Sosial Umum : Hidrant umum, KM/WC umum non komersial, terminal air

Soaial Khusus : Panti asuhah, yayasan sosial, tempat ibadah,

Rumah Tangga I : Rumah tangga dengan tipe < 21 m²

Rumah Tangga II : Rumah tangga dengan tipe > 21 m²

Rumah Tangga III: Rumah tangga dengan kegiatan usaha kecil yang ditetapkan dengan keputusan direksi dan/atau rumah tangga yang berada pada lokasi pengembangan pelayanan

Rumah Tangga IV: Rumah tangga dengan kegiatan usaha yang berada di jalan kota atau jalan propinsi atau jalan nasional dan/atau rumah tangga yang berada pada lokasi pengembangan pelayanan.

Pemerintahan : Sarana milik instansi pemerintah, Sarana milik instansi kepolisian, Sarana milik instansi TNI

Sekolahan : Play group, taman kanak-kanak (TK), sekolah dasar (SD) atau sederajat, sekolah menengah pertama (SMP) atau sederajat, sekolah menengah umum (SMU) atau sederajat, perguruan tinggi (akademi, institute, sekolah tinggi, universitas) atau sederajat

Niaga I : BUMD, praktek dokter (umum, spesialis, gigi, hewan), kantor profesi (notaris, PPAT, pengacara, penasehat hukum, akuntan punlik, psikologi, konsultan tanah, konsultan pajak, kontraktor, konsultan bangunan), Lembaga/ yayasan/ organisasi non sosial, rumah sakit, praktek bidan, apotik dan toko obat, toko, salon (rias pengantin, potong rambut), asrama/indekost, studio photo, optical, losmen, hotel non bintang, catering, panti pjat, gedung olah raga, stasiun radio swasta, penjahit, konveksi, sanggar kebugaran, KM/WC yang dikomersilkan, agen transport (travel, bus, kereta api, pesawat terbang, kapal laut), niro perjalanan, kursus, usaha persewaan

sepeda motor/mobil, warung air, laundry/binatu, bangkel dan tempat cucian sepeda motor, home stay

Niaga II : BUMN, kantor instansi swasta (bank, asuransi, koperasi, lembaga pembiayaan/leasing, developer, pemasaran, distributor), badan usaha swasta baik yang berbentuk badan hukum maupun yang tidak berbentuk badan hukum, dealer sepeda motor dan dealer mobil, rumah sakit dan klinik swasta, hotel berbintang, restoran, gedung pertemuan, balai pengobatan, laboratorium swasta, tempat hiburan (billyard, karaoke, pub, diskotik, kafe, bioskop), bengkel dan tempat cucian mobil, lembaga pendidikan, usaha peternakan, pabrik, usaha air mineral, usaha air minum isi ulang, kolam renang swasta, stasiun televisi swasta, kantor penerbitan surat kabar dan majalah, gedung pertunjukkan.

Sebagain besar pelanggan di wilayah Sondakan adalah jenis Rumah Tangga golongan II (41,3 %) yaitu rumah tangga dengan luas bangunan > 21 m² dan jenis Niaga golongan I (34,3 %) yaitu jenis pelanggan yang menggunakan rumahnya untuk usaha kecil seperti toko, rumah makan, wartel, dll. Data mengenai pelanggan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 8.

4.1.4 Karakteristik Pemakaian Air

Pemakaian air pelanggan di wilayah Sondakan berdasarkan data enam bulan terakhir adalah sebagaimana pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Pemakaian Air Pelanggan di Wilayah Sondakan Tahun 2006

Jenis Pelanggan	Pemakaian air (m ³)							
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	juni	Rata2	%
1. Sosial Umum	153	148	107	102	97	90	116,2	1,5
2. Soaial Khusus	205	211	202	166	162	208	192,3	3,5
3. Rumah Tangga I	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Rumah Tangga II	2.864	2.436	2.377	2.274	2.191	2.378	2.420	39,8
5. Rumah Tangga III	511	466	476	439	443	444	463,2	7,4
6. Rumah Tangga IV	616	504	638	502	488	505	542,2	8,4
7. Inst. Pemerintahan	273	243	256	265	371	380	298	9,4
8. Sekolahan	0	0	0	0	0	0	0	0
9. Niaga I	2.459	2.050	2.023	1.999	2.067	1.995	2.098,8	33,4
10. Niaga II	27	42	41	33	35	76	42,3	1,3
Jumlah (m ³ /bln)	7.108	6.100	6.120	5.780	5.854	6.076	6.173	100%

Jumlah (l/dt)	2,74	2,35	2,36	2,23	2,26	2,34	2,38	-
---------------	------	------	------	------	------	------	------	---

Sumber: Data PDAM Surakarta

Dari tabel tersebut terlihat bahwa total pemakaian air rata-rata di wilayah Sondakan adalah 6.173 m³/bln atau sebesar 3.57 l/dt. Dari ikhtisar pemakaian air pelanggan juga diperoleh data bahwa ada sebagian pelanggan yang pemakaian airnya sangat kecil (< 10 m³/bln), bahkan ada yang pemakaiannya 0 m³/bln. Jumlah yang dikelompokkan berdasarkan besarnya pemakaian air per bulan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Jumlah Pelanggan Berdasar Rata-Rata Pemakaian Air Perbulan

Kelompok pemakai air	Jumlah pelanggan (unit)						
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	% Rata2
0 m ³	15	22	24	22	21	21	8,77
1 – 10 m ³	37	48	49	57	60	46	20,83
> 10 m ³	186	170	167	162	161	175	71,67
Jumlah	238	240	240	241	242	242	100

Sumber: Data PDAM Surakarta

Dari tabel tersebut terlihat bahwa jumlah pelanggan dengan pemakaian 0 m³ cukup besar yaitu 8,8 %, dan pemakaian < 10 m³ berjumlah 20,83 %. Total pelanggan dengan pemakaian air < 10 m³ berjumlah 29,6 %.

Dengan banyaknya pelanggan yang pemakaian airnya < 10 m³ bahkan 0 m³, menyebabkan PDAM menjadi rugi karena penyediaan dan pemeliharaan prasarana air bersih yang dilakukan PDAM tidak seimbang dengan besarnya pendapatan dari penjualan air khususnya di wilayah tersebut.

Dari pengamatan yang sudah dilakukan, banyaknya pelanggan yang pemakaian airnya < 10 m³ adalah disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

- Meter pelanggan mati sama sekali
- Umur meter pelanggan sudah sangat tua sehingga tidak akurat lagi
- Tersedianya air tanah yang cukup bagus, sehingga air PDAM hanya digunakan sebagai cadangan atau hanya digunakan untuk memasak/minum, sedang untuk mandi, dan keperluan mencuci memakai air tanah.

Besarnya pemakaian air oleh semua jenis pelanggan selama bulan Januari 2006 – Juli 2006 dapat dilihat pada lampiran 5. Besarnya pemakaian air tersebut didasarkan pada rekening tagihan bulanan. Dan data pembacaan meter induk yang dipasang pada pipa utama jaringan distribusi dapat dilihat pada lampiran 4.

4.1.5 Kondisi Pelayanan

Kondisi pelayanan air bersih di wilayah Sondakan dari segi kualitas, kuantitas, maupun kontinuitas cukup baik, karena air berasal dari mata air Cokrotulung dan wilayah Sondakan dilalui oleh pipa induk ACP diameter 300 mm pada lokasi interkoneksi dengan pipa transmisi diameter 450 mm dari mata air Cokrotulung. Dengan kondisi ini, maka suplai air ke wilayah Sondakan dapat dilakukan selama 24 jam dengan tekanan dipelanggan sebesar 0.4 – 1 bar pada siang hari, dan tekanan 1 – 1,5 bar pada malam hari.

4.2 PEMODELAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN *SIMULTANEOUS LOOP EQUATION METHOD*

Penyelesaian persamaan-persamaan dalam jaringan perpipaan didasarkan pada hukum kekekalan masa dan hukum kekekalan energi. Dengan kekekalan masa maka jumlah air yang masuk dalam jaringan harus sama dengan jumlah yang keluar dari jaringan. Dengan adanya ketentuan tersebut dan juga kekekalan energi maka besarnya aliran pada tiap-tiap pipa dan *headloss* (kehilangan energi) sepanjang pipa dapat ditentukan.

Ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam penyelesaian persamaan-persamaan jaringan perpipaan. Metode Hardy Cross (*single loop adjustment algorithm*) adalah metode yang paling sederhana, dan metode *Simultaneous Loop Equation (Simultaneous Loop flow adjustment method)* yang melibatkan aliran loop yang secara simultan saling mempengaruhi sehingga penyelesaiannya pun harus dilakukan dengan metode matrik jacobian. Karena penyelesaian dalam simulasi Epanet dengan *Simultaneous Loop Equation Method* maka berikut ini akan diuraikan langkah-langkah dalam penyelesaian dengan metode tersebut.

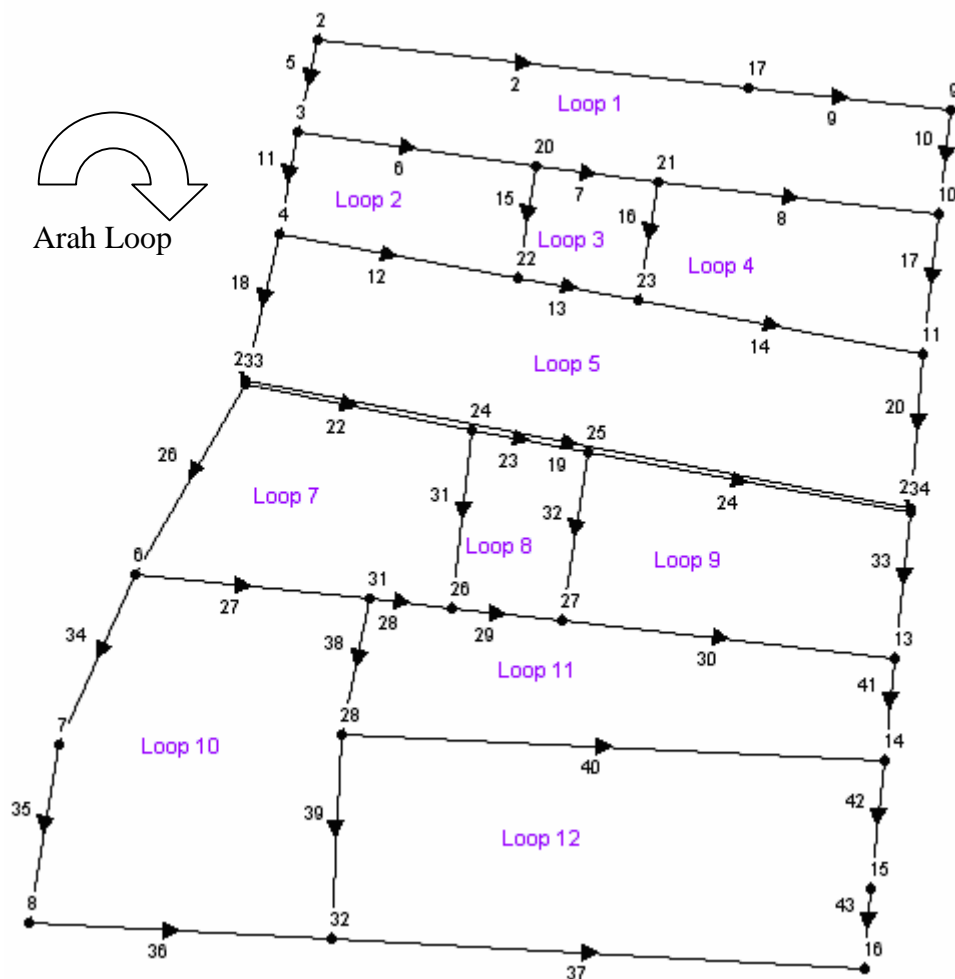
4.2.1. Menentukan Rangkaian Loop:

Step yang pertama adalah menentukan rangkaian loop. 12 loop diidentifikasi pada jaringan seperti gambar 4.1. Headloss pada rangkaian loop yang tertutup, yaitu loop 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 dan 12 adalah 0 Karena loop berasal dan berakhir pada *node* yang sama dan *node* memiliki total *head* yang unik (lihat pada analisis pipa paralel bab II). Arah aliran positif berarti searah jarum jam dan arah aliran negatif berarti berlawanan arah jarum jam.

Dengan asumsi arah aliran awal seperti pada gambar 4.16, persamaan loop ditunjukkan dengan:

Loop 1 (berawal dan berakhir pada *node* 2):

$$(K_2 [Q_2]^{1.852}) + (K_9 [Q_9]^{1.852}) + (K_{10} [Q_{10}]^{1.852}) - (K_5 [Q_5]^{1.852}) - (K_6 [Q_6]^{1.852}) - (K_7 [Q_7]^{1.852}) - (K_8 [Q_8]^{1.852}) = H_2 - H_2 = 0$$



Gambar 4.1. Analisis Jaringan Pipa Dengan Asumsi Arah Loop dan Arah Aliran.

Pada persamaan diatas kesepakatan tanda ditambahkan sebagai asumsi arah aliran awal. Misal pada pipa 2 diasumsikan arah aliran searah jarum jam sehingga diberi tanda positif. Pada hasil akhir penyelesaian aliran pipa bila bertanda positif berarti asumsi awal yang kita buat benar yaitu arah aliran dari *node* 2 ke *node* 17. Jika asumsi arah aliran awal yang ditentukan ternyata salah, bahwa aliran yang benar adalah dari *node* 17 ke *node* 2 maka hasil akan bertanda negatif. demikian juga untuk pipa 9 dan 10 juga asumsi awal bertanda positif. Sedangkan untuk pipa 5, 6, 7 dan 8 bertanda negatif karena berlawanan arah jarum jam. dalam kasus ini perjanjian tanda negatif dan positif hanya untuk aliran. Sedang *headloss* pada aliran pipa tetap bertanda positif.

Loop 2 (berawal dan berakhir pada *node* 3):

$$(K_6 [Q_6]^{1.852}) + (K_{15} [Q_{15}]^{1.852}) - (K_{11} [Q_{11}]^{1.852}) - (K_{12} [Q_{12}]^{1.852}) = H_3 - H_3 = 0$$

perjanjian tanda tetap digunakan. Tanda positif diberikan untuk aliran yang searah jarum jam relatif terhadap loop. Sehingga pipa 6 bertanda negatif relatif terhadap loop 1 dan bertanda positif relatif terhadap loop 2.

Loop 3 (berawal dan berakhir pada *node* 20):

$$(K_7 \lfloor Q_7 \rfloor^{1.852}) + (K_{16} \lfloor Q_{16} \rfloor^{1.852}) - (K_{15} \lfloor Q_{15} \rfloor^{1.852}) - (K_{13} \lfloor Q_{13} \rfloor^{1.852}) = H_{20} - H_{20} = 0$$

loop 4 (berawal dan berakhir pada *node* 21):

$$(K_8 \lfloor Q_8 \rfloor^{1.852}) + (K_{17} \lfloor Q_{17} \rfloor^{1.852}) - (K_{16} \lfloor Q_{16} \rfloor^{1.852}) - (K_{14} \lfloor Q_{14} \rfloor^{1.852}) = H_{21} - H_{21} = 0$$

Loop 5 (berawal dan berakhir pada *node* 4):

$$(K_{12} \lfloor Q_{12} \rfloor^{1.852}) + (K_{13} \lfloor Q_{13} \rfloor^{1.852}) + (K_{14} \lfloor Q_{14} \rfloor^{1.852}) + (K_{20} \lfloor Q_{20} \rfloor^{1.852}) - (K_{18} \lfloor Q_{18} \rfloor^{1.852}) - (K_{19} \lfloor Q_{19} \rfloor^{1.852}) = H_4 - H_4 = 0$$

Loop 6 (berawal dan berakhir pada *node* 33):

$$(K_{19} \lfloor Q_{19} \rfloor^{1.852}) + (K_{25} \lfloor Q_{25} \rfloor^{1.852}) + (K_{24} \lfloor Q_{24} \rfloor^{1.852}) + (K_{21} \lfloor Q_{21} \rfloor^{1.852}) - (K_{22} \lfloor Q_{22} \rfloor^{1.852}) - (K_{23} \lfloor Q_{23} \rfloor^{1.852}) = H_{33} - H_{33} = 0$$

Loop 7 (berawal dan berakhir pada *node* 5):

$$(K_{22} \lfloor Q_{22} \rfloor^{1.852}) + (K_{31} \lfloor Q_{31} \rfloor^{1.852}) - (K_{26} \lfloor Q_{26} \rfloor^{1.852}) - (K_{27} \lfloor Q_{27} \rfloor^{1.852}) - (K_{28} \lfloor Q_{28} \rfloor^{1.852}) = H_5 - H_5 = 0$$

Loop 8 (berawal dan berakhir pada *node* 24):

$$(K_{23} \lfloor Q_{23} \rfloor^{1.852}) + (K_{32} \lfloor Q_{32} \rfloor^{1.852}) - (K_{31} \lfloor Q_{31} \rfloor^{1.852}) - (K_{29} \lfloor Q_{29} \rfloor^{1.852}) = H_{24} - H_{24} = 0$$

loop 9 (berawal dan berakhir pada *node* 25):

$$(K_{33} \lfloor Q_{33} \rfloor^{1.852}) - (K_{24} \lfloor Q_{24} \rfloor^{1.852}) - (K_{32} \lfloor Q_{32} \rfloor^{1.852}) - (K_{30} \lfloor Q_{30} \rfloor^{1.852}) = H_{25} - H_{25} = 0$$

Loop 10 (berawal dan berakhir pada *node* 6):

$$(K_{27} \lfloor Q_{27} \rfloor^{1.852}) + (K_{38} \lfloor Q_{38} \rfloor^{1.852}) + (K_{39} \lfloor Q_{39} \rfloor^{1.852}) - (K_{34} \lfloor Q_{34} \rfloor^{1.852}) - (K_{35} \lfloor Q_{35} \rfloor^{1.852}) - (K_{36} \lfloor Q_{36} \rfloor^{1.852}) = H_6 - H_6 = 0$$

Loop 11 (berawal dan berakhir pada *node* 31):

$$(K_{28} \lfloor Q_{28} \rfloor^{1.852}) + (K_{29} \lfloor Q_{29} \rfloor^{1.852}) + (K_{30} \lfloor Q_{30} \rfloor^{1.852}) + (K_{41} \lfloor Q_{41} \rfloor^{1.852}) - (K_{38} \lfloor Q_{38} \rfloor^{1.852}) - (K_{40} \lfloor Q_{40} \rfloor^{1.852}) = H_{31} - H_{31} = 0$$

Loop 12 (berawal dan berakhir pada *node* 28):

$$(K_{40} \lfloor Q_{40} \rfloor^{1.852}) + (K_{42} \lfloor Q_{42} \rfloor^{1.852}) + (K_{43} \lfloor Q_{43} \rfloor^{1.852}) - (K_{39} \lfloor Q_{39} \rfloor^{1.852}) - (K_{37} \lfloor Q_{37} \rfloor^{1.852}) = H_{28} - H_{28} = 0$$

Ada beberapa pipa yang berhubungan dengan dua loop yang memiliki tanda negatif pada persamaan satu loop dan tanda positif pada persamaan loop yang lain. Ketentuan ini tetap harus dipertimbangkan ketika dilakukan perhitungan perbaikan aliran.

Dengan nilai parameter awal untuk pipa-pipa pada sistem jaringan (Panjang, diameter dan koefisien resistensi pipa) seperti pada lampiran 3 diperoleh nilai koefisien untuk masing-masing pipa (nilai K). Nilai K untuk tiap pipa seperti pada tabel 4.5, dihitung dengan menggunakan persamaan Hazen-Williams:

$$K = 4.73 \frac{L}{D^{4.48} C_{HW}^{1.85}}$$

Dimana Q dalam cfs (*cubic feet persecond*), D dan L dalam ft (feet). Pada tabel 4.5 nilai rata-rata aliran (Q) ditentukan berdasarkan besarnya aliran *input* dari sumber dan jumlah *demand* untuk masing-masing *node*. Untuk besarnya aliran pada tiap pipa ditentukan secara acak namun harus tetap memenuhi hukum kekekalan masa. Aliran pipa awal ditentukan secara berurutan untuk semua *node* hingga *node* terakhir. *Node* yang terakhir kemudian dicek sebagai konfirmasi apakah terjadi keseimbangan massa.

Contoh perhitungan manual ini, adalah contoh perhitungan untuk simulasi pada jam 06.00. Aliran air yang masuk pada sistem jaringan adalah 54.31 gpm (galon permenit), maka total aliran pada jaringan pipa pada awal dan akhir perhitungan harus selalu tetap sebesar 54.31 gpm, senilai dengan aliran yang dihasilkan oleh pipa utama yang mensuplai kebutuhan air pada jaringan. Semua aliran pada pipa, nilai awalnya diasumsikan yang disesuaikan dengan besarnya *demand* pada masing-masing *node* kemudian nilai pada pipa terakhir dihitung untuk memeriksa persamaan keseimbangan massa.

4.2.2. Menghitung *headloss* Pipa (HL) dan Turunannya:

Menghitung *headloss* (hL) pada tiap pipa dengan menggunakan rumus:

$$h_L(Q) = F_{LP}(Q) = \sum_{l \in loop} K_l [Q_l]^n$$

dan menghitung pula nhL/Q . dimana $F_{LP}(Q) = headloss$ pada pipa l, K_l = koefisien pipa l, Q_l = aliran dari iterasi/asumsi sebelumnya pada pipa l, pangkat $n = 1.85$, dan n pada nhL/Q adalah banyaknya pipa pada loop P.

Tabel 4.5. Nilai Headloss dan Turunan Headloss.

Pipa	K	Q (cfs)	hL	hL (ft/kft)	nhL/Q
Pipa 2	106.79	0.022	0.094	0.101	7.79
Pipa 5	3.45	0.099	0.048	0.221	0.89
Pipa 6	61.68	0.018	0.036	0.067	3.72
Pipa 7	29.75	0.015	0.013	0.050	1.57
Pipa 8	113.85	0.007	0.012	0.012	3.11
Pipa 9	57.99	0.006	0.004	0.008	1.35
Pipa 10	90.45	0.001	0.000	0.002	0.59
Pipa 11	4.79	0.081	0.046	0.153	1.04
Pipa 12	249.02	0.013	0.085	0.160	11.76
Pipa 13	128.62	0.009	0.020	0.073	4.23
Pipa 14	324.19	0.007	0.036	0.052	9.14
Pipa 15	1216.50	0.001	0.004	0.012	6.95
Pipa 16	1294.44	0.001	0.004	0.012	7.40
Pipa 17	215.36	0.002	0.002	0.005	2.01
Pipa 18	5.95	0.068	0.041	0.109	1.11
Pipa 19	726.75	0.013	0.248	0.160	34.33
Pipa 20	193.48	0.002	0.001	0.004	1.60
Pipa 21	2.73	0.054	0.012	0.524	0.42
Pipa 22	231.65	0.007	0.022	0.044	6.07
Pipa 23	120.89	0.005	0.007	0.025	2.44
Pipa 24	381.63	0.004	0.013	0.016	6.20
Pipa 25	6.50	0.001	0.000	0.002	0.05
Pipa 26	54.11	0.047	0.193	0.410	7.51
Pipa 27	50.18	0.033	0.093	0.214	5.16
Pipa 28	29.15	0.024	0.030	0.120	2.29
Pipa 29	25.12	0.023	0.024	0.109	1.89
Pipa 30	95.48	0.022	0.083	0.100	6.93
Pipa 31	192.56	0.001	0.001	0.002	1.10

Lanjutan Tabel 4.5. Nilai Headloss dan Turunan Headloss

Pipa	K	Q (cfs)	hL	hL (ft/kft)	nhL/Q
Pipa 32	179.98	0.001	0.001	0.002	1.03
Pipa 33	141.98	0.002	0.002	0.006	1.51
Pipa 34	251.12	0.012	0.072	0.133	10.92
Pipa 35	204.82	0.008	0.024	0.056	5.96
Pipa 36	329.14	0.007	0.031	0.044	8.63
Pipa 37	611.83	0.000	0.000	0.000	1.54
Pipa 38	310.30	0.007	0.029	0.083	8.13
Pipa 39	437.06	0.003	0.011	0.023	6.36
Pipa 40	151.17	0.001	0.001	0.000	0.88
Pipa 41	91.88	0.018	0.052	0.266	5.48
Pipa 42	179.69	0.012	0.048	0.125	7.59
Pipa 43	80.86	0.006	0.007	0.038	1.97

4.2.3. Menghitung *headloss* Loop (F) dan Turunannya:

Hitung jumlah *headloss* pada tiap-tiap loop dengan menggunakan nilai yang ada pada tabel 4.5 dengan tetap mengasumsikan kondisi dengan persamaan loop yang telah didefinisikan pada langkah pertama. Dengan menggunakan perkiraan awal nilai *headloss* persamaan energi untuk loop 1 adalah:

$$\begin{aligned}
 F_1(Q^{(0)}) &= (K_2 [Q_2]^{1.852}) + (K_9 [Q_9]^{1.852}) + (K_{10} [Q_{10}]^{1.852}) - (K_5 [Q_5]^{1.852}) - (K_6 \\
 &\quad [Q_6]^{1.852}) - (K_7 [Q_7]^{1.852}) - (K_8 [Q_8]^{1.852}) \\
 &= 106.79 (0.022)^{1.852} + 57.99 (0.006)^{1.852} + 90.45 (0.001)^{1.852} - 3.45 \\
 &\quad (0.099)^{1.852} - 61.68 (0.018)^{1.852} - 19.75 (0.015)^{1.852} - 113.85 \\
 &\quad (0.007)^{1.852} \\
 &= 0.094 + 0.004 + 0.000 - 0.048 - 0.036 - 0.013 - 0.012 \\
 &= -0.010
 \end{aligned}$$

Selanjutnya hitung jumlah nilai absolut dari turunannya

$$\begin{aligned}
 \sum_{l \in \text{loop}} n |h_{L,l} / Q_l| &= n \left(\frac{h_{L,2}}{Q_2} + \frac{h_{L,9}}{Q_9} + \frac{h_{L,10}}{Q_{10}} + \frac{h_{L,5}}{Q_5} + \frac{h_{L,6}}{Q_6} + \frac{h_{L,7}}{Q_7} + \frac{h_{L,8}}{Q_8} \right) \\
 &= 7.79 + 1.35 + 0.59 + 0.89 + 3.72 + 1.57 + 3.11 \\
 &= 19.018
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6. memberikan semua nilai total *headloss* (Σh_L) dan nilai turunan Headloss ($\Sigma n|h_L/Q|$) untuk semua loop:

Tabel 4.6. Tabel Nilai *Headloss* dan Turunannya

Loop	Σh_L	$\Sigma n h_L/Q $
Loop 1	-0.010	19.018
Loop 2	-0.091	23.482
Loop 3	-0.007	20.155
Loop 4	-0.027	21.660
Loop 5	-0.146	62.182
Loop 6	0.194	49.521
Loop 7	-0.294	22.138
Loop 8	-0.017	6.467
Loop 9	-0.069	15.671
Loop 10	0.007	45.151
Loop 11	0.159	25.612
Loop 12	0.043	18.335

4.2.4. Persamaan Matrik Jacobian (J_L):

Untuk penyelesaian dengan metode simultan, sebagai *input* data awal kita menggunakan nilai-nilai dari hasil perhitungan diatas. Sebenarnya sampai dengan tahap ini langkah-langkah yang digunakan baik metode Hardy Cross maupun metode *Simultaneous Loop Equation* adalah sama.

Untuk memulai dengan metode *Simultaneous Loop Equation* digunakan penyelesaian dengan matrik jacobian. Koefisien matrik jacobian adalah gradien dari persamaan loop yang berhubungan dengan koreksi aliran tiap-tiap loop.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & - & - & \frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_{12})} \\ \frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & - & - & \frac{\partial F_2}{\partial(\Delta Q_{12})} \\ \frac{\partial F_3}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_3}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_3}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & - & - & \frac{\partial F_3}{\partial(\Delta Q_{12})} \\ \frac{\partial F_4}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_4}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_4}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - & \frac{\partial F_{10}}{\partial(\Delta Q_{12})} \\ - & - & - & - & - & - & - & \frac{\partial F_{11}}{\partial(\Delta Q_{12})} \\ \frac{\partial F_{12}}{\partial(\Delta Q_1)} & \frac{\partial F_{12}}{\partial(\Delta Q_2)} & \frac{\partial F_{12}}{\partial(\Delta Q_3)} & - & - & \frac{\partial F_{12}}{\partial(\Delta Q_{11})} & \frac{\partial F_{12}}{\partial(\Delta Q_{12})} & \frac{\partial F_{12}}{\partial(\Delta Q_{12})} \end{bmatrix}$$

Nilai diagonal matrik adalah identik dengan penyebut pada nilai koreksi Hardy Cross.

$$\frac{\partial F_{L1}}{\partial(\Delta Q_{L1})} = \sum_{l \in loop} n \left| \frac{h_{L,l}}{Q_l} \right|$$

Dimana *loop* adalah jumlah pipa pada pada loop L1. Dari nilai pada tabel 4.5, nilai koefisien matrik yang simetrik dapat dimasukkan. Baris 1 – 12 adalah mewakili loop 1 – 12.

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{L1}}{\partial(\Delta Q_{L1})} &= \sum_{l \in loop} n \left| \frac{h_{L,l}}{Q_l} \right| \\ &= n \left(\frac{h_{L,2}}{Q_2} + \frac{h_{L,9}}{Q_9} + \frac{h_{L,10}}{Q_{10}} + \frac{h_{L,5}}{Q_5} + \frac{h_{L,6}}{Q_6} + \frac{h_{L,7}}{Q_7} + \frac{h_{L,8}}{Q_8} \right) \\ &= 7.79 + 1.35 + 0.59 + 0.89 + 3.72 + 1.57 + 3.11 \\ &= 19.018 \end{aligned}$$

Nilai selain diagonal adalah gradien untuk pipa yang ada pada loop L1 dan dan loop yang lain, lp atau:

$$\frac{\partial F_{L1}}{\partial(\Delta Q_{lp})} = - \sum_{l \in ncpipe(LP,lp)} n \left| \frac{h_{L,l}}{Q_l} \right| = \frac{\partial F_{lp}}{\partial(\Delta Q_{L1})}$$

Dimana $ncpipe(L1,lp)$ adalah rangkaian pipa yang secara bersama digunakan oleh loop L1 dan lp (misal pipa 6 pada loop 1 dan loop 2). Nilai pada baris ke 1 (berhubungan dengan persamaan loop 1) dan kolom ke 2 (berhubungan dengan loop 2) adalah gradien dari pemakaian pipa bersama, yaitu hanya pipa 6 yang berkaitan dengan koreksi aliran pada loop 2. atau:

$$\frac{\partial F_1}{\partial(\Delta Q_2)} = - \sum_{l \in ncpipe(1,2)} n \left| \frac{h_{L,6}}{Q_6} \right| = -1.852 \left| \frac{0.036}{0.018} \right| = -3.72$$

Dengan pernyataan diatas maka nilai gradien ini juga berlaku untuk $\partial F_2 / \partial(\Delta Q_1)$.

Pipa-pipa yang saling berhubungan antar loop secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Pipa yang Berhubungan Antar Loop

Respect	Loop 1	Loop 2	Loop 3	Loop 4	Loop 5	Loop 6	Loop 7	Loop 8	Loop 9	Loop 10	Loop 11	Loop 12
Loop 1		Pipa 6	Pipa 7	Pipa 8								
Loop 2	Pipa 6		Pipa 15		Pipa 12							
Loop 3	Pipa 7	Pipa 15		Pipa 16	Pipa 13							
Loop 4	Pipa 8		Pipa 16		Pipa 14							
Loop 5		Pipa 12	Pipa 13	Pipa 14		Pipa 19						
Loop 6					Pipa 19		Pipa 22	Pipa 23	Pipa 24			
Loop 7						Pipa 22		Pipa 31		Pipa 27	Pipa 28	
Loop 8						Pipa 23	Pipa 31		Pipa 32		Pipa 29	
Loop 9						Pipa 24		Pipa 32			Pipa 30	
Loop 10							Pipa 27				Pipa 38	Pipa 39
Loop 11							Pipa 28	Pipa 29	Pipa 30	Pipa 38		Pipa 40
Loop 12										Pipa 39	Pipa 40	

Nilai diagonal yang lain dapat dilihat dari tabel 4.6 dan nilai selain diagonal yang lain dapat dilihat dari tabel 4.5.

Jika antara dua loop ternyata tidak ada pipa yang dipakai bersama maka nilai gradiennya sama dengan nol.

Nilai J_L (jacobian matrik) dari sistem jaringan diatas adalah sebagai berikut:

$$J_L = \begin{pmatrix} 19.018 & -3.73 & -1.57 & -3.11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3.73 & 23.482 & -6.95 & 0 & -11.76 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.57 & -6.95 & 20.155 & -7.40 & -4.23 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3.11 & 0 & -7.40 & 21.660 & -9.14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -11.76 & -4.23 & -9.14 & 62.182 & -34.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -34.33 & 49.521 & -6.07 & -2.44 & -6.20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6.07 & 22.138 & -1.10 & 0 & -5.16 & -2.29 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.44 & -1.10 & 6.467 & -1.03 & 0 & -1.89 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6.20 & 0 & -1.03 & 15.671 & 0 & -6.93 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5.16 & 0 & 0 & 45.151 & -8.13 & -6.36 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.29 & -1.89 & -6.93 & -8.13 & 25.612 & -0.88 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6.36 & -0.88 & 18.335 \end{pmatrix}$$

Nilai sisi sebelah kanan untuk matrik tersebut adalah nilai hasil perhitungan dari persamaan dengan perkiraan aliran saat itu yang dihitung dengan metode Hardy Cross yang ditabelkan pada kolom kedua pada tabel 4.8.

$$F(Q^{(0)})^T = \begin{pmatrix} -0.010 \\ -0.091 \\ -0.007 \\ -0.027 \\ -0.146 \\ 0.194 \\ -0.294 \\ -0.017 \\ -0.069 \\ 0.007 \\ 0.159 \\ 0.043 \end{pmatrix}$$

Sebagai contoh, baris ke 3 yaitu persamaan loop 3:

$$\begin{aligned} F_3 &= (K_7 \lfloor Q_7 \rfloor^{1.852}) + (K_{16} \lfloor Q_{16} \rfloor^{1.852}) - (K_{15} \lfloor Q_{15} \rfloor^{1.852}) - (K_{13} \lfloor Q_{13} \rfloor^{1.852}) = H_{20} - H_{20} \\ &= 0.013 + 0.004 - 0.004 - 0.020 \\ &= -0.007 \end{aligned}$$

4.2.5. Menghitung Nilai koreksi (ΔQ):

Menghitung besarnya koreksi pada masing-masing loop (ΔQ) dengan persamaan penyelesaian matrik jacobian ($J_L \cdot \Delta Q = -F$)

$$J_L \Delta Q = \begin{pmatrix} 19.018 & -3.73 & -1.57 & -3.11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3.73 & 23.482 & -6.95 & 0 & -11.76 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.57 & -6.95 & 20.155 & -7.40 & -4.23 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3.11 & 0 & -7.40 & 21.660 & -9.14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -11.76 & -4.23 & -9.14 & 62.182 & -34.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -34.33 & 49.521 & -6.07 & -2.44 & -6.20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6.07 & 22.138 & -1.10 & 0 & -5.16 & -2.29 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.44 & -1.10 & 6.467 & -1.03 & 0 & -1.89 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6.20 & 0 & -1.03 & 15.671 & 0 & -6.93 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5.16 & 0 & 0 & 45.151 & -8.13 & -6.36 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.29 & -1.89 & -6.93 & -8.13 & 25.612 & -0.88 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6.36 & -0.88 & 18.335 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta Q_4 \\ \Delta Q_5 \\ \Delta Q_6 \\ \Delta Q_7 \\ \Delta Q_8 \\ \Delta Q_9 \\ \Delta Q_{10} \\ \Delta Q_{11} \\ \Delta Q_{12} \end{pmatrix}$$

$$= -F = \begin{pmatrix} 0.010 \\ 0.091 \\ 0.007 \\ 0.027 \\ 0.146 \\ -0.194 \\ 0.294 \\ 0.017 \\ 0.069 \\ -0.007 \\ -0.159 \\ -0.043 \end{pmatrix}$$

Dari matrik diatas dapat ditulis beberapa persamaan yang akan diselesaikan dengan metode iterasi Jacobian.

$$\text{Pers 1 : } 19.018 \Delta Q_1 - 3.73 \Delta Q_2 - 1.57 \Delta Q_3 - 3.11 \Delta Q_4 = 0.010$$

$$\text{Pers 2 : } -3.73 \Delta Q_1 + 23.482 \Delta Q_2 - 6.95 \Delta Q_3 - 11.76 \Delta Q_5 = 0.091$$

$$\text{Pers 3 : } -1.57 \Delta Q_1 - 6.95 \Delta Q_2 + 20.155 \Delta Q_3 - 7.40 \Delta Q_4 - 4.23 \Delta Q_5 = 0.007$$

$$\text{Pers 4 : } -3.11 \Delta Q_1 - 7.40 \Delta Q_3 + 21.660 \Delta Q_4 - 9.14 \Delta Q_5 = 0.027$$

$$\text{Pers 5 : } -11.76 \Delta Q_2 - 4.23 \Delta Q_3 - 9.14 \Delta Q_4 + 62.182 \Delta Q_5 - 34.33 \Delta Q_6 = 0.146$$

$$\text{Pers 6 : } -34.33 \Delta Q_5 + 49.521 \Delta Q_6 - 6.07 \Delta Q_7 - 2.44 \Delta Q_8 - 6.20 \Delta Q_9 = -0.194$$

$$\text{Pers 7 : } -6.07 \Delta Q_6 + 22.138 \Delta Q_7 - 1.10 \Delta Q_8 - 5.16 \Delta Q_{10} - 2.29 \Delta Q_{11} = 0.294$$

$$\text{Pers 8 : } -2.44 \Delta Q_6 - 1.10 \Delta Q_7 + 6.467 \Delta Q_8 - 1.03 \Delta Q_9 - 1.89 \Delta Q_{10} = 0.017$$

$$\text{Pers 9 : } -6.20 \Delta Q_6 - 1.03 \Delta Q_8 + 15.671 \Delta Q_9 - 6.93 \Delta Q_{11} = 0.069$$

$$\text{Pers 10: } -5.16 \Delta Q_7 + 45.151 \Delta Q_{10} - 8.13 \Delta Q_{11} - 6.36 \Delta Q_{12} = -0.007$$

$$\text{Pers 11: } -2.29 \Delta Q_7 - 1.89 \Delta Q_8 - 6.93 \Delta Q_9 - 8.13 \Delta Q_{10} + 25.612 \Delta Q_{11} - 0.88$$

$$\Delta Q_{12} = -0.159$$

$$\text{Pers 12: } -6.36 \Delta Q_{10} - 0.88 \Delta Q_{11} + 18.335 \Delta Q_{12} = -0.043$$

Dua belas persamaan diatas selanjutnya diselesaikan dengan metode matrik jacobian. Dalam proses penyelesaian sebagai nilai koreksi awal kita tentukan secara acak (misal ditentukan nilai koreksi awal untuk semua loop adalah 1). Diperoleh nilai koreksi pada iterasi pertama untuk dua belas persamaan diatas adalah:

$$\Delta Q^{(m+1)} = \begin{pmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta Q_4 \\ \Delta Q_5 \\ \Delta Q_6 \\ \Delta Q_7 \\ \Delta Q_8 \\ \Delta Q_9 \\ \Delta Q_{10} \\ \Delta Q_{11} \\ \Delta Q_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.01008 \\ 0.02238 \\ 0.02079 \\ 0.01893 \\ 0.01998 \\ 0.01523 \\ 0.01900 \\ 0.01432 \\ 0.01215 \\ 0.00201 \\ 0.00067 \\ 0.00158 \end{pmatrix}$$

4.2.6. Perbaikan Nilai Aliran (Q):

Selanjutnya nilai koreksi tersebut digunakan sebagai perbaikan terhadap aliran awal dengan memasukkannya pada persamaan.

Sebagai contoh, dengan menyelesaikan persamaan berikut aliran pada pipa 6 (aliran awal 8 gpm) menjadi:

$$\begin{aligned} Q_6^{(m+1)} &= Q_6 - \Delta Q_1 + \Delta Q_2 \\ &= 0.01782 - 0.01008 - 0.02238 \\ &= 0.03013 \text{ cfs} \\ &= 13.52175 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Dengan adanya perbaikan (*Update*) aliran tersebut maka aliran yang sekarang berubah terlihat dalam tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8. Perbaikan Aliran Pada $Q^{(m+1)}$.

Pipa	$Q^{(m)}$ (cfs)	$Q^{(m+1)}$ (cfs)	$Q^{(m+1)}$ (gpm)
Pipa 2	0.022280	0.03236	14.52509
Pipa 5	0.098723	0.08864	39.78491
Pipa 6	0.017824	0.03013	13.52175
Pipa 7	0.015262	0.02597	11.65446
Pipa 8	0.007018	0.01587	7.12227
Pipa 9	0.005793	0.01587	7.12509
Pipa 10	0.001292	0.01137	5.10509
Pipa 11	0.080899	0.05851	26.26316
Pipa 12	0.013368	0.01097	4.92194
Pipa 13	0.008734	0.00793	3.55923
Pipa 14	0.007286	0.00834	3.74141
Pipa 15	0.001114	0.00271	1.21729
Pipa 16	0.001114	0.00297	1.33219
Pipa 17	0.001983	0.02092	9.38737
Pipa 18	0.067531	0.04755	21.34122
Pipa 19	0.013368	0.00861	3.86489
Pipa 20	0.001716	0.02170	9.73878
Pipa 21	0.054163	0.03894	17.47633
Pipa 22	0.006684	0.01046	4.69271
Pipa 23	0.004924	0.00402	1.80410
Pipa 24	0.003810	0.00073	0.32868
Pipa 25	0.001404	0.01663	7.46367
Pipa 26	0.047479	0.02848	12.78362
Pipa 27	0.033420	0.01643	7.37589
Pipa 28	0.024374	0.00605	2.71580
Pipa 29	0.023171	0.00952	4.27441
Pipa 30	0.022146	0.01067	4.78983
Pipa 31	0.001114	0.00579	2.59861
Pipa 32	0.001114	0.00329	1.47542
Pipa 33	0.002317	0.01446	6.49234
Pipa 34	0.012120	0.01011	4.53773
Pipa 35	0.007553	0.00554	2.48773

Lanjutan Tabel 4.8. Perbaikan Aliran Pada $Q^{(m+1)}$.

Pipa	$Q^{(m)}$ (cfs)	$Q^{(m+1)}$ (cfs)	$Q^{(m+1)}$ (gpm)
Pipa 36	0.006684	0.00467	2.09773
Pipa 37	0.000423	0.00201	0.90121
Pipa 38	0.006684	0.00802	3.60009
Pipa 39	0.003342	0.00694	3.11347
Pipa 40	0.001136	-0.00112	-0.50338
Pipa 41	0.017601	0.01827	8.20217
Pipa 42	0.011719	0.01013	4.54879
Pipa 43	0.006149	0.00456	2.04879

Pada pipa 40 diperoleh hasil aliran setelah dilakukan perbaikan sebesar - 0.00112 cfs atau - 0.50338 gpm. Terlihat hasil bertanda negatif, hal ini menunjukkan asumsi arah aliran awal yang kita buat adalah salah. Asumsi arah aliran awal adalah dari *node* 28 menuju *node* 14, yang benar adalah dari *node* 14 menuju *node* 28. Perubahan tanda ini harus tetap diperhatikan ketika nanti akan dilakukan perbaikan aliran untuk iterasi selanjutnya.

Diperoleh nilai koreksi aliran loop yang masih cukup besar. Diperlukan iterasi selanjutnya sehingga diharapkan akan diperoleh nilai koreksi sekecil mungkin atau minimal dibawah batas toleransi yang ditetapkan. Untuk melanjutkan ke iterasi berikutnya maka kembali ke step 2.

Ternyata diperlukan sepuluh kali iterasi untuk bisa mencapai nilai koreksi loop yang minimal (toleransi hingga 5 angka dibelakang koma). Tabel 4.9 adalah tabel nilai koreksi untuk masing-masing loop dan tabel 4.10 adalah implementasi nilai koreksi tersebut untuk perbaikan aliran pada masing-masing pipa.

Tabel 4.9. Nilai Koreksi Loop Untuk Tiap Iterasi Dengan Metode
Simultaneous Loop Equation

Loop	$\Delta Q^{(1)}$	$\Delta Q^{(2)}$	$\Delta Q^{(3)}$	$\Delta Q^{(4)}$	$\Delta Q^{(5)}$	$\Delta Q^{(6)}$	$\Delta Q^{(7)}$	$\Delta Q^{(8)}$	$\Delta Q^{(9)}$	$\Delta Q^{(10)}$
Loop 1	0.01008	-0.00441	-0.00040	0.00013	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 2	0.02238	-0.00904	-0.00066	0.00028	-0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 3	0.02079	-0.00922	-0.00081	0.00028	-0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 4	0.01893	-0.00877	-0.00116	0.00023	-0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 5	0.01998	-0.00899	-0.00071	0.00024	-0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 6	0.01523	-0.00816	-0.00014	0.00022	-0.00005	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 7	0.01900	-0.00263	-0.00058	0.00015	-0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 8	0.01432	-0.00337	-0.00086	0.00014	-0.00005	-0.00001	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 9	0.01215	-0.00441	-0.00101	0.00004	-0.00005	-0.00001	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 10	0.00201	-0.00180	-0.00008	0.00001	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 11	0.00067	-0.00386	-0.00056	-0.00015	-0.00010	-0.00004	-0.00002	-0.00001	-0.00001	0.00000
Loop 12	-0.00158	-0.00052	0.00030	0.00018	0.00007	0.00004	0.00002	0.00001	0.00000	0.00000
Loop 13	0.01008	-0.00441	-0.00040	0.00013	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Pada tabel 4.9 kita dapatkan nilai nilai koreksi yang semakin kecil dengan adanya penambahan iterasi. Hingga pada iterasi perbaikan koreksi ke sepuluh $\Delta Q^{(10)}$, kita cukupkan karena nilai koreksi telah minimum (semua nilai koreksi telah mencapai 0.00000). Seandainya iterasi dilanjutkan maka perbaikan ΔQ akan sangat kecil sekali dan perbaikan terhadap Q juga sangat kecil.

Tabel 4.10. Nilai Aliran Pipa Untuk Tiap Iterasi Dengan Metode
Simultaneous Loop Equation (dalam gpm)

Pipa	$Q^{(1)}$	$Q^{(2)}$	$Q^{(3)}$	$Q^{(4)}$	$Q^{(5)}$	$Q^{(6)}$	$Q^{(7)}$	$Q^{(8)}$	$Q^{(9)}$	$Q^{(10)}$
Pipa 2	14.52509	12.54541	12.36604	12.42537	12.41728	12.41782	12.41763	12.41757	12.41754	12.41752
Pipa 5	39.78491	41.76458	41.94396	41.88462	41.89270	41.89216	41.89236	41.89241	41.89244	41.89245
Pipa 6	13.52175	11.44380	11.32721	11.39215	11.38223	11.38275	11.38245	11.38235	11.38230	11.38227
Pipa 7	11.65446	9.49649	9.31014	9.37793	9.36822	9.36878	9.36851	9.36843	9.36839	9.36837
Pipa 8	7.12227	5.16638	4.82354	4.86613	4.85999	4.86024	4.86003	4.85996	4.85992	4.85990
Pipa 9	7.12509	5.14541	4.96604	5.02537	5.01728	5.01783	5.01763	5.01757	5.01755	5.01753
Pipa 10	5.10509	3.12541	2.94604	3.00537	2.99728	2.99783	2.99763	2.99757	2.99755	2.99753
Pipa 11	26.26316	30.32078	30.61674	30.49247	30.51047	30.50941	30.50991	30.51006	30.51014	30.51018
Pipa 12	4.92194	4.94546	4.92273	4.90632	4.90663	4.90594	4.90568	4.90554	4.90548	4.90544
Pipa 13	3.55923	3.66277	3.70981	3.69053	3.69064	3.68991	3.68962	3.68946	3.68939	3.68935

Lanjutan Tabel 4.15. Nilai Aliran Pipa Untuk Tiap Iterasi Dengan Metode
Simultaneous Loop Equation (Dalam Gpm)

Pipa	Q(1)	Q(2)	Q(3)	Q(4)	Q(5)	Q(6)	Q(7)	Q(8)	Q(9)	Q(10)
Pipa 14	3.74141	3.64288	3.84641	3.85234	3.84887	3.84846	3.84810	3.84794	3.84786	3.84782
Pipa 15	1.21729	1.29731	1.36708	1.36421	1.36401	1.36397	1.36393	1.36392	1.36391	1.36390
Pipa 16	1.33219	1.13011	1.28659	1.31181	1.30823	1.30855	1.30849	1.30848	1.30847	1.30847
Pipa 17	9.38737	5.45179	4.92958	5.03150	5.01728	5.01806	5.01766	5.01753	5.01747	5.01743
Pipa 18	21.34122	25.37532	25.69401	25.58615	25.60385	25.60347	25.60423	25.60452	25.60466	25.60474
Pipa 19	3.86489	4.23570	4.49026	4.48249	4.47973	4.47875	4.47821	4.47794	4.47781	4.47774
Pipa 20	9.73878	5.70468	5.38599	5.49384	5.47615	5.47652	5.47576	5.47547	5.47533	5.47525
Pipa 21	17.47633	21.13962	21.20375	21.10366	21.12412	21.12472	21.12602	21.12657	21.12684	21.12699
Pipa 22	4.69271	7.17730	6.97962	6.94791	6.95108	6.95048	6.95039	6.95033	6.95031	6.95029
Pipa 23	1.80410	3.95294	3.63144	3.59632	3.59372	3.59144	3.59042	3.58990	3.58964	3.58951
Pipa 24	0.32868	2.01485	1.62650	1.54551	1.54314	1.53889	1.53713	1.53622	1.53578	1.53554
Pipa 25	7.46367	3.80038	3.73625	3.83633	3.81588	3.81528	3.81397	3.81342	3.81315	3.81299
Pipa 26	12.78362	13.96232	14.22412	14.15576	14.17304	14.17424	14.17562	14.17624	14.17654	14.17670
Pipa 27	7.37589	7.74814	7.97603	7.91125	7.92157	7.92083	7.92110	7.92117	7.92125	7.92128
Pipa 28	2.71580	2.16255	2.17264	2.03802	2.01195	1.99396	1.98559	1.98135	1.97927	1.97816
Pipa 29	4.27441	4.05691	4.19082	4.05961	4.03932	4.02299	4.01557	4.01179	4.00994	4.00894
Pipa 30	4.78983	5.03500	5.23576	5.15042	5.12989	5.11555	5.10886	5.10546	5.10381	5.10291
Pipa 31	2.59861	2.93435	3.05819	3.06159	3.06737	3.06903	3.06998	3.07044	3.07066	3.07079
Pipa 32	1.47542	1.93809	2.00494	2.05081	2.05058	2.05256	2.05329	2.05368	2.05387	2.05397
Pipa 33	6.49234	4.51523	4.06275	4.08184	4.05902	4.05416	4.05111	4.04964	4.04892	4.04853
Pipa 34	4.53773	5.34418	5.37809	5.37451	5.38146	5.38341	5.38453	5.38507	5.38528	5.38543
Pipa 35	2.48773	3.29418	3.32809	3.32451	3.33146	3.33341	3.33453	3.33507	3.33528	3.33543
Pipa 36	2.09773	2.90418	2.93809	2.93451	2.94147	2.94341	2.94453	2.94507	2.94528	2.94543
Pipa 37	0.90121	1.13626	0.99946	0.91778	0.88839	0.87244	0.86469	0.86080	0.85858	0.85755
Pipa 38	3.60009	4.52559	4.74339	4.81323	4.84962	4.86688	4.87550	4.87982	4.88198	4.88312
Pipa 39	3.11347	2.54208	2.37137	2.29327	2.25693	2.23903	2.23017	2.22572	2.22329	2.22212
Pipa 40	-0.50338	2.00027	2.38878	2.53672	2.60946	2.64461	2.66210	2.67086	2.67545	2.67776
Pipa 41	8.20217	6.47023	6.21852	6.15226	6.10891	6.08971	6.07996	6.07510	6.07273	6.07144
Pipa 42	4.54879	4.31374	4.45054	4.53222	4.56160	4.57756	4.58530	4.58920	4.59142	4.59245
Pipa 43	2.04879	1.81374	1.95054	2.03222	2.06161	2.07756	2.08530	2.08920	2.08753	2.08855

Tabel 4.17 menunjukkan nilai aliran yang terus dilakukan perbaikan pada tiap iterasi. Terlihat nilai akhir aliran yaitu pada $Q^{(10)}$ sebagai hasil aliran akhir pada jaringan. Diperoleh hasil perhitungan akhir yang tidak jauh berbeda dengan simulasi epanet pada jam 06.00 (lihat lampiran 6).

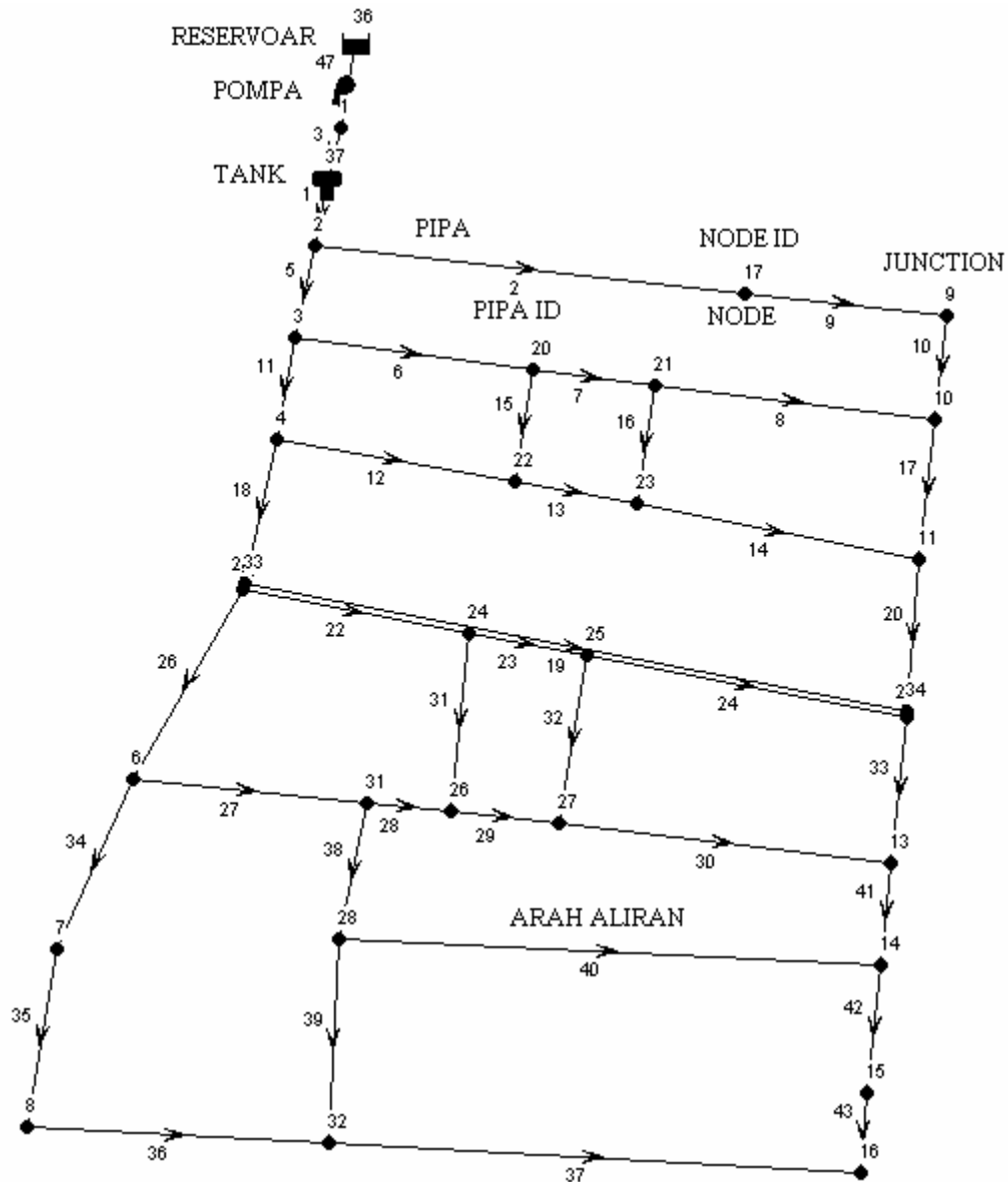
4.3 SIMULASI MODEL JARINGAN DENGAN EPANET

Sistem jaringan distribusi air yang ada pada Kelurahan Sondakan dimodelkan sebagai suatu sistem jaringan distribusi air dengan *software* Epanet. Karakteristik model jaringan Epanet meliputi komponen fisik jaringan dan komponen non-fisik jaringan.

4.2.1 Setting Komponen Fisik Jaringan

Epanet memodelkan sebuah sistem distribusi air berupa serangkaian jalur-jalur yang dihubungkan dengan titik-titik. Sebuah jalur bisa mewakili pipa, pompa, dan katup. Sedangkan titik mewakili *junction* (persimpangan), *tank* (bak penampung) dan *reservoir*. Gambar 4.2 menggambarkan bagaimana obyek-obyek dihubungkan satu dengan yang lain hingga membentuk sistem jaringan distribusi air di wilayah Sondakan.

Pada model seperti gambar 4.2, *reservoir*, pompa dan *tank* ditambahkan pada sistem jaringan yang sesungguhnya ketiga komponen tersebut tidak ada. Wilayah Sondakan merupakan bagian kecil dari sistem jaringan perpipaan PDAM Surakarta yang tersebar diseluruh wilayah Karisidenan Surakarta. Maka *reservoir* dan pompa yang sesungguhnya berada dilokasi sumber air (baik instalasi pengolahan air ataupun sumber sumur dalam) disertakan juga dalam model agar simulasi dapat dijalankan. Demikian juga *tank* sebagai bak akhir penampungan harus disertakan dalam simulasi walaupun sebenarnya komponen ini tidak ada dalam sistem jaringan perpipaan di wilayah Sondakan.



Gambar 4.2. Komponen Fisik Jaringan Distribusi Air Kelurahan Sondakan

□ **Junctions (persimpangan)**

Junction (berupa *node*) adalah titik pada jaringan dimana *link-link* bertemu satu dengan yang lain dan dimana air masuk dan keluar pada jaringan. *Input* data utama yang diperlukan oleh *junction* adalah :

- Ketinggian diatas beberapa referensi (biasanya rata-rata permukaan laut)
- Kebutuhan air (rata-rata pengeluaran air dari jaringan)
- Inisial kualitas air

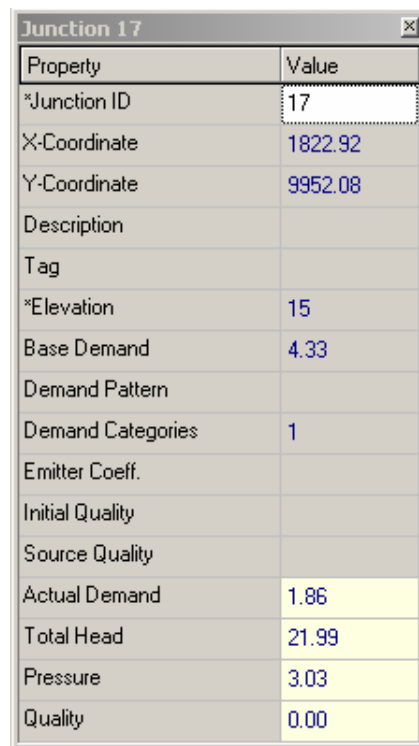
Output hasil perhitungan untuk *junction* untuk satu periode waktu selama simulasi adalah:

- *Head* hidrolik (internal energi persatuan unit fluida)
- Tekanan
- Kualitas air

Karakteristik *junction* yang lain:

- Menampung *demand* yang berubah-ubah terhadap waktu
- Menampung berbagai kategori *demand* yang ditugaskan kepadanya
- Mempunyai *demand* yang negatif yang mengindikasikan air memasuki jaringan
- Menjadi sumber kualitas air dari unsur pokok yang memasuki jaringan.
- Sebagai *emiter* (*node* pemancar air) dimana terjadi aliran air memancar yang bergantung pada besarnya tekanan.

Gambar 4.3 adalah contoh setting nilai karakteristik untuk *junctions* (*node*) 17.



Property	Value
*Junction ID	17
X-Coordinate	1822.92
Y-Coordinate	9952.08
Description	
Tag	
*Elevation	15
Base Demand	4.33
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	1.86
Total Head	21.99
Pressure	3.03
Quality	0.00

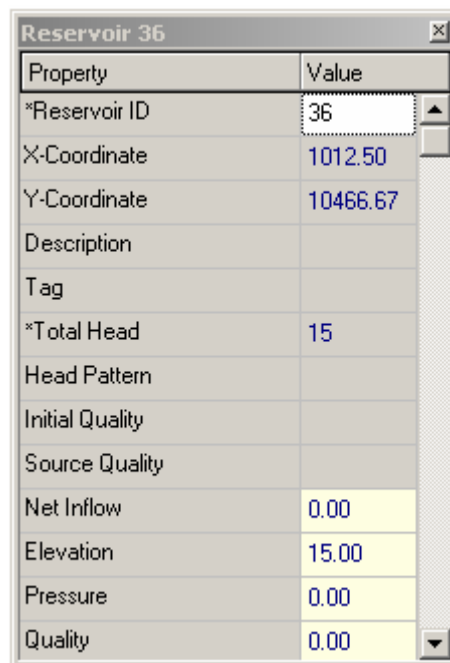
Gambar 4.3. Setting Karakteristik Untuk *junctions* (*node*) 17

❑ **Reservoirs**

Reservoir adalah *node* yang merepresentasikan sebuah sumber eksternal yang tidak terbatas atau bak penampungan yang mensuplai air diseluruh jaringan.

Mereka biasanya memodelkan seperti danau, sungai atau akuifer air bawah tanah. *Reservoir* juga dapat menjadi titik sumber kualitas air. Yang menjadi *input* utama untuk sebuah *reservoir* adalah *head* hidrolik (atau ketinggian permukaan air jika *reservoir* tidak berada dalam tekanan) dan inisial analisis kualitas air.

Dikarenakan *reservoir* adalah titik batasan pada sebuah jaringan, *head* dan kualitas air pada *reservoir* tidak dapat dipengaruhi oleh apapun yang terjadi didalam jaringan. Oleh karena itu *reservoir* tidak memiliki hasil perhitungan sebagai *output*. Sungguhpun demikian *head* sebuah *reservoir* dapat dirancang bervariasi terhadap waktu dengan adanya penugasan berdasar pola waktu tertentu. Gambar 4.4 adalah contoh setting nilai karakteristik untuk *Reservoir*.



Property	Value
*Reservoir ID	36
X-Coordinate	1012.50
Y-Coordinate	10466.67
Description	
Tag	
*Total Head	15
Head Pattern	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	0.00
Elevation	15.00
Pressure	0.00
Quality	0.00

Gambar 4.4. Setting Karakteristik Untuk *Reservoir*

❑ **Tank (bak penampungan)**

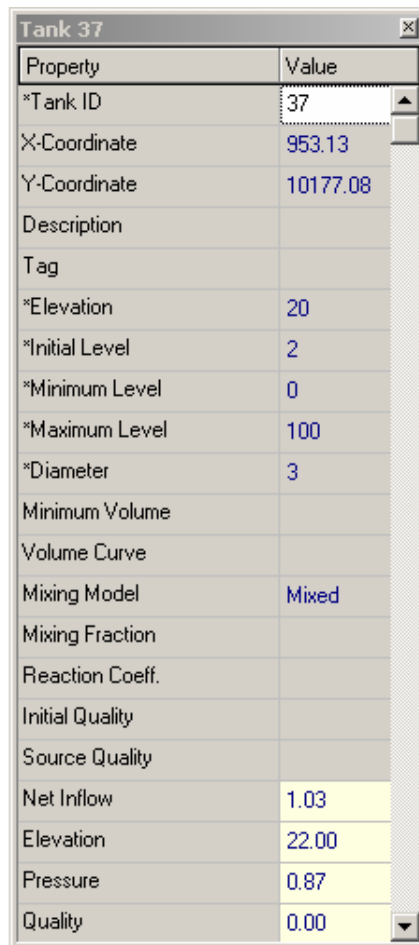
Tank adalah sebuah *node* yang memiliki kapasitas penampungan, dimana volume air yang ditampung dapat bervariasi terhadap waktu selama periode simulasi. *Input* utama untuk *tank* adalah:

- Elevasi/ketinggian terendah (ketika air yang ditampung kosong)
- Diameter (atau bentuk yang lain jika tidak silinder)
- Inisial, tinggi air minimum dan maksimum
- Inisial kualitas air.

Output utama yang dihitung adalah:

- *Head* hidrolik (tinggi permukaan air)
- Kualitas air

Tank diperlukan untuk menjalankan operasi dengan adanya level air minimum dan maksimum. Epanet akan menghentikan aliran keluar jika *tank* berada dalam level minimum dan menghentikan aliran masuk jika *tank* berada dalam level maksimum. *Tank* dapat juga menjadi titik sumber kualitas air. Gambar 4.5 adalah contoh setting nilai karakteristik untuk *tank*.



Property	Value
*Tank ID	37
X-Coordinate	953.13
Y-Coordinate	10177.08
Description	
Tag	
*Elevation	20
*Initial Level	2
*Minimum Level	0
*Maximum Level	100
*Diameter	3
Minimum Volume	
Volume Curve	
Mixing Model	Mixed
Mixing Fraction	
Reaction Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	1.03
Elevation	22.00
Pressure	0.87
Quality	0.00

Gambar 4.5. Setting Karakteristik Untuk *Tank*

❑ PIPA

Pipa adalah *link*/saluran yang menyalurkan air dari dari satu titik ke titik yang lain dalam sebuah jaringan. Epanet mengasumsikan semua pipa penuh berisi air pada setiap saat. Arah aliran adalah dari ujung yang memiliki *head* hidrolik terbesar (energi internal tiap berat air) menuju ke *head* yang lebih kecil. Parameter *input* pada prinsip hidrolik untuk pipa adalah:

- Awal dan akhir *node*
- Diameter
- Panjang
- Koefisien kekasaran (untuk menentukan *headloss*)
- Status (terbuka, tertutup, atau memiliki katup)

Parameter status akan menyebabkan pipa menjadi *shutoff valves* (gerbang/*gate*) dan *check valves* (yang menyebabkan aliran hanya terjadi dalam satu arah). *Input* kualitas air untuk untuk pipa terdiri dari :

- Koefisien reaksi Bulk
- Koefisien reaksi Wall

Output hasil perhitungan untuk pipa adalah:

- Rata-rata aliran
- Kecepatan
- *Headloss*
- Faktor friksi *Darcy-Weisbach*
- Tingkat reaksi rata-rata (yang melewati sepanjang pipa)
- Kualitas air rata-rata (yang melewati sepanjang pipa)

Kehilangan *head* hidrolis dengan mengalirnya air sepanjang pipa dikarenakan adanya friksi terhadap dinding pipa dapat dihitung menggunakan salah satu dari ketiga *formula* berikut ini:

- *Hazen-Williams formula*
- *Darcy-Weisbach formula*
- *Chezy-Manning formula*

formula Hazen-Williams adalah yang paling umum digunakan sebagai *formula headloss* di US. Formula ini tidak bisa digunakan untuk jenis liquid yang lain selain air dan dikembangkan khusus untuk aliran jenis *turbulent*. *formula Darcy-Weisbach* secara teori paling tepat. Formula ini dapat diaplikasikan untuk semua jenis aliran dan semua jenis liquid. *formula Chezy-Manning* lebih sering digunakan untuk tipe aliran terbuka. Tiap-tiap *formula* diatas menggunakan persamaan berikut ini untuk menghitung *headloss* dari awal hingga akhir *node* pada pipa:

$$h_L = A q^B$$

Dimana h_L = headloss (panjang), q = rata-rata aliran (volume/waktu), A = koefisien resistansi, dan B = eksponen aliran. Tabel 4.5 menunjukkan daftar koefisien resistansi dan nilai eksponen aliran untuk tiap *formula*.

Tabel 4.11. Formula *Headloss* Untuk Aliran Penuh pada Pipa
(*headloss* dalam feet dan *flow* dalam cfs)

Formula	Koefisien resistensi (A)	Eksponen aliran (B)
Hazen-Williams	$4.727 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0252 f(\epsilon, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$4.66 n^2 d^{-5.33} L$	2
Keterangan: C = Koefisien kekasaran Hazen-Williams e = Koefisien kekasaran Darcy-Weisbach (ft) f = Faktor friksi (tergantung pada e, d, dan q) n = Koefisien kekasaran Manning d = Diameter pipa (ft) L = Panjang pipa (ft) q = Rata-rata aliran (cfs)		

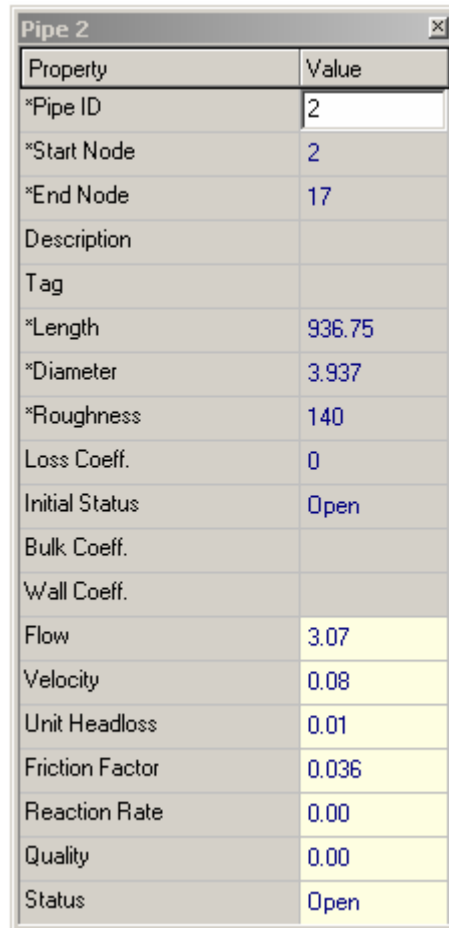
Masing-masing *formula* menggunakan koefisien kekasaran pipa yang berbeda yang harus ditentukan secara empirik. Tabel 4.12. menunjukkan range koefisien secara umum untuk jenis bahan pipa yang berbeda. Kita harus tahu bahwa koefisien kekasaran pipa dapat berubah dengan berjalannya waktu. Dengan *formula Darcy-Weisbach* Epanet akan menggunakan metode yang berbeda untuk menghitung faktor friksi f tergantung pada jenis aliran:

- *Formula Hagen–Poiseuille* digunakan untuk aliran *laminar* ($Re < 2.000$)
- Swamee dan Jain dengan pendekatan persamaan *Colebrook-White* ($Re > 4.000$)
- Interpolasi kubik dari diagram moody untuk aliran transisional ($2.000 < Re < 4.000$)

Tabel 4.12. Koefisien Resistensi Untuk Jenis Pipa

Bahan	Hazen-Williams C (unitless)	Darcy-Weisbach ϵ (feet $\times 10^{-3}$)	Manning's n (unitless)
Cast Iron	130 – 140	0.85	0.012 – 0.015
Concrete or Concrete Lined	120 – 140	1.0 – 10	0.012 – 0.017
Galvanized Iron	120	0.5	0.015 – 0.017
Plastic	140 – 150	0.005	0.011 – 0.015
Steel	140 – 150	0.15	0.015 – 0.017
Vitrified Clay	120		0.013 – 0.015

Saat perancangan awal pipa dapat dipasang dalam kondisi terbuka atau tertutup, atau untuk kondisi jaringan tertentu seperti ketika level *tank* berada dibawah atau diatas nilai tertentu yang sudah disetting, atau ketika tekanan *node* berada dibawah atau diatas nilai tertentu. Gambar 4.6 adalah contoh setting nilai karakteristik untuk pipa 2.



Property	Value
*Pipe ID	2
*Start Node	2
*End Node	17
Description	
Tag	
*Length	936.75
*Diameter	3.937
*Roughness	140
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	3.07
Velocity	0.08
Unit Headloss	0.01
Friction Factor	0.036
Reaction Rate	0.00
Quality	0.00
Status	Open

Gambar 4.6. Setting Karakteristik Untuk Pipa 2

❑ Pompa

Pompa adalah *link* yang memberikan energi kepada fluida sehingga dengan demikian menaikkan *head* hidrolis. Parameter *input* untuk sebuah pompa adalah awal dan akhir *node* yang dihubungkannya dan bentuk kurvanya (kombinasi antara *head* dan aliran yang dihasilkan oleh pompa). Sebagai pengganti kurva pompa tersebut, dapat digunakan peralatan yang memiliki energi konstan, yang mampu mensuplai sejumlah energi yang konstan (horspower atau kilowatt) terhadap fluida untuk seluruh kombinasi *head* dan aliran.

Parameter *output* dari pompa juga berupa *head* dan aliran. Aliran yang melalui pompa adalah satu arah dan Epanet tidak dapat mengoperasikan diluar batas range kurva pompa tersebut.

Variabel kecepatan pompa dapat juga ditetapkan dengan menentukan setting kecepatannya yang dapat berubah pada suatu tipe kondisi tertentu. Maksudnya kurva pompa original dapat mensuplai program sehingga memiliki setting kecepatan relatif terhadap 1. jika kecepatan pompa ganda maka kecepatan relatif akan menjadi 2, jika dijalankan pada kecepatan setengah kecepatan relatif akan menjadi 0,5, demikian juga dengan yang lainnya. Perubahan kecepatan pompa akan menggeser posisi dan bentuk kurva pompa.

Sebagaimana pada pipa, pompa dapat dihidupkan dan dimatikan pada *preset time* atau jika kondisi tertentu terjadi pada jaringan. Operasi sebuah pompa dapat juga ditetapkan dengan adanya penugasan terhadap pola waktu sesuai setting kecepatan relatif. Epanet dapat juga menghitung konsumsi energi dan biaya dari pompa. Setiap pompa dapat ditugaskan dengan menetapkan efisiensi kurva dan daftar biaya energinya. Jika hal ini tidak tersedia maka setting pilihan energi secara umum yang akan digunakan.

Aliran yang melalui pompa adalah satu arah. Jika kondisi sistem membutuhkan *head* yang lebih besar dari kapasitas *head* pompa, Epanet akan mematikan pompa. Jika lebih dari aliran maksimal yang dibutuhkan, Epanet akan memperhitungkan kurva pompa sesuai dengan aliran yang dibutuhkan, bahkan bila produksi *head*nya ternyata negatif, pada kedua kasus ini sebuah *warning* permasalahan akan ditampilkan. Gambar 4.7. adalah contoh setting nilai karakteristik untuk pompa.

Pump 47	
Property	Value
*Pump ID	47
*Start Node	36
*End Node	1
Description	
Tag	
Pump Curve	1
Power	
Speed	
Pattern	
Initial Status	Closed
Effic. Curve	
Energy Price	
Price Pattern	
Flow	0.00
Headloss	0.00
Quality	0.00
Status	Closed

Gambar 4.7. Setting Karakteristik Untuk Pompa

❑ Katup (valves)

Katup adalah suatu *link* yang membatasi tekanan ataupun aliran pada suatu titik tertentu pada jaringan. Yang menjadi parameter *input* untuk katup adalah:

- Awal dan akhir *node*
- Diameter
- Setting
- Status

Output hasil perhitungan untuk sebuah katup adalah rata-rata aliran dan *headloss*

Berbagai tipe katup yang disediakan oleh Epanet adalah

- *Pressure Reducing Valve* (PRV)
- *Pressure Sustaining Valve* (PSV)
- *Pressure Breaker Valve* (PBV)
- *Flow Control Valve* (FCV)
- *Throttle Control Valve* (TCV)
- *General Purpose Valve* (GPV).

PRVs membatasi tekanan pada suatu titik pada jaringan pipa. Epanet dapat menghitung PRV dalam tiga kondisi yang berbeda.

- Terbuka sebagian (aktif) untuk mencapai setting tekanan pada kondisi *downstream* ketika tekanan *upstream* yang terjadi diatas tekanan setting.
- Terbuka penuh ketika tekanan *upstream* berada dibawah tekanan setting.
- Tertutup jika tekanan pada kondisi *downstream* ternyata melebihi tekanan saat *upstream* (tidak diperbolehkan terjadinya aliran balik).

PSVs menjaga setting tekanan di suatu titik tertentu pada pipa jaringan. Epanet dapat menghitung PSV untuk tiga kondisi yang berbeda.

- Terbuka sebagian (aktif) untuk menjaga setting tekanan pada kondisi *upstream* jika tekanan *downstream* berada dibawah nilai tertentu.
- Terbuka penuh jika tekanan *downstream* berada diatas setting.
- Tertutup jika tekanan pada kondisi *downstream* melebihi tekanan melebihi tekanan saat *upstream* (tidak diijinkan terjadinya aliran balik).

PBVs memaksa hilangnya tekanan tertentu sehingga terjadi kondisi berlawanan dengan katup. Aliran yang melalui katup dapat terjadi pada arah berlawanan. PBVs bukanlah peralatan fisik yang dibenarkan tetapi dapat digunakan untuk memodelkan jika situasi dimana tekanan yang jatuh pada titik tertentu masih menyebabkan sistem dapat berjalan.

PCVs membatasi aliran pada jumlah tertentu. Program akan menghasilkan pesan *warning* jika aliran ini tidak dijaga dan tidak ada tambahan *head* yang dapat diperoleh pada katup (aliran tetap tidak dapat dijaga walaupun katup pada kondisi terbuka penuh).

TCVs mensimulasikan katup terbuka sebagian dengan menyesuaikan koefisien *minor headloss* pada katup. Hubungan antara besarnya tingkat penutupan katup dengan koefisien *headloss* yang dihasilkan biasanya disediakan oleh perusahaan manufaktur pembuat katup.

GPVs digunakan untuk mewakili sebuah *link* dimana *user* mensuplai sebuah aliran khusus – yang berhubungan dengan *headloss* yang lebih kompleks dari sekedar *formula* untuk hidrolik standar. Ini bisa digunakan untuk memodelkan turbin, *well draw-down* atau katup pencegah *reduced-flow backflow*.

Katup *shutoff* (gerbang) dan katup cek (*non-return*), baik terbuka atau tertutup yang ada pada pipa bukanlah merupakan sebuah *link* katup yang terpisah akan tetapi sebagai sebuah properti yang ditempatkan pada pipa.

Setiap tipe katup memiliki parametr setting yang berbeda-beda yang digambarkan sebagai titik operasi (tekanan untuk PRVs, PSVs, PBVs; aliran untuk FCVs; koefisien *loss* untuk TCVs; dan kurva *headloss* untuk GPVs).

Katup dapat mengesampingkan status kontrolnya bila ditetapkan sepenuhnya terbuka atau sepenuhnya tertutup. Sebuah status katup dan settingannya dapat dirubah selama simulasi dengan menggunakan kontrol pernyataan.

Karena adanya berbagai cara untuk memodelkan katup maka aturan berikut ini diperkukan ketika menambahkan sebuah katup kedalam jaringan.

- Sebuah PRV, PSV, dan FCV tidak dapat dihubungkan secara langsung dengan *reservoir* atau *tank* (gunakan pipa yang panjangnya tertentu untuk memisahkan dari keduanya).
- PRVs tidak dapat digunakan secara bersamaan untuk *node* dengan *downstream* yang sama atau dipasang secara seri.
- Dua PSVs tidak dapat secara bersama-sama untuk *node upstream* yang sama atau dihubungkan secara seri.
- Sebuah PSV tidak dapat dihubungkan dengan *downstream node* dari sebuah PRV.

4.2.2 Setting Komponen Non-Fisik

Sebagai tambahan untuk komponen non fisik, Epanet menggunakan tiga jenis informasi untuk obyek – kurva, pola, dan kontrol – yang menggambarkan kondisi kerja dan aspek operasi dari sebuah sistem distribusi.

□ Kurva

Kurva adalah obyek berupa pasangan data yang merepresentasikan sebuah hubungan antara dua kuantitas. Dua atau lebih obyek dapat dibentuk menjadi satu kurva. Model Epanet dapat menjalankan tipe-tipe kurva berikut ini:

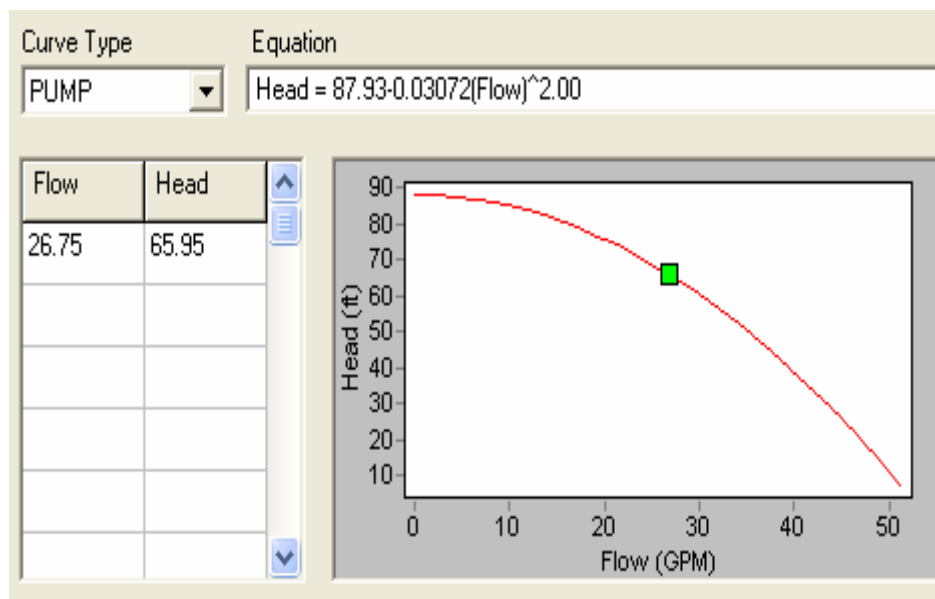
- Kurva pompa
- Kurva efisiensi

- Kurva volume
- Kurva *headloss*

Kurva Pompa

Sebuah kurva pompa menggambarkan hubungan antara *head* dan aliran rata-rata yang dapat dihasilkan pada setting kecepatan nominal. *Head* adalah besarnya *head* yang diberikan pada air oleh pompa dan diplotkan pada sumbu vertikal (Y) pada kurva dalam satuan feet (meter). Aliran rata-rata diplotkan pada kurva sebagai sumbu horizontal (X) dalam satuan unit aliran. Sebuah kurva pompa yang valid harus memiliki peningkatan *head* dengan penurunan aliran rata-rata.

Epanet akan menggunakan bentuk kurva yang berbeda tergantung pada jumlah titik yang disediakan. Gambar dibawah ini adalah kurva pompa yang digunakan dalam simulasi jaringan distribusi air dalam pipa di wilayah Sondakan. Pompa tersebut disetting dengan masukan berupa aliran sebesar 26.75 GPM karena dengan aliran sebesar itu akan menghasilkan *Head* pompa sebesar 65.95 feet. Nilai *head* tersebut dihasilkan dari persamaan *head* untuk pompa $head = 87.93 - 0.03072 (Flow)^2$. Dan dengan *head* pompa sebesar 65.95 feet maka aliran yang dihasilkan oleh pompa pada sistem jaringan sesuai dengan kondisi sesungguhnya yaitu rata-rata sebesar 27.09 GPM. Gambar 4.8 adalah contoh setting nilai karakteristik untuk kurva pompa.



Gambar 4.8. Kurva Pompa Pada Sistem Jaringan Wilayah Sondakan.

❑ Pola Waktu

Pola waktu adalah kumpulan dari *multiplier* pada jumlah tertentu yang dapat diaplikasikan sehingga dapat dijalankan pada berbagai variasi waktu. *Demand* pada *node*, *head reservoir*, jadwal pompa, dan *input* sumber kualitas air semuanya dapat digunakan dengan pengaturan pola waktu. Interval waktu yang digunakan pada semua pola adalah nilai yang tetap. Pada interval ini kuantitas yang ada merupakan level konstan, sama dengan produk pada nilai nominal yang diisikan dan pola *multiplier* untuk periode waktu tersebut. Meskipun semua pola waktu harus menggunakan interval yang sama, tapi masing-masing bisa memiliki jumlah periode yang berbeda. Jika waktu simulasi melebihi jumlah periode dalam pola, maka pola akan membalik lagi pada periode pertama. Pola waktu pada simulasi ini nantinya diterapkan untuk variasi *demand* pada *node*, karena adanya pola-pola jumlah konsumsi air yang bervariasi.

Rekap *demand* oleh pelanggan selama bulan januari – juli 2006 dari pipa-pipa sekunder dan tersier (pipa dalam model jaringan adalah pipa tipe sekunder dan tersier) dapat dilihat pada lampiran 1. Kondisi *demand* sesungguhnya diambil melalui pipa-pipa dinas yang berdiameter $\frac{1}{2}$ atau $\frac{3}{4}$ inch yang menyalurkan air dari pipa-pipa sekunder dan tersier tersambung sampai pada titik-titik akhir di posisi pelanggan. Namun disini simulasi hanya dilakukan pada pipa-pipa sekunder dan tersier untuk menyederhanakan sistem jaringan. Sehingga *demand* yang melalui pipa-pipa dinas diakumulasikan pada pipa-pipa sekunder dan tersier.

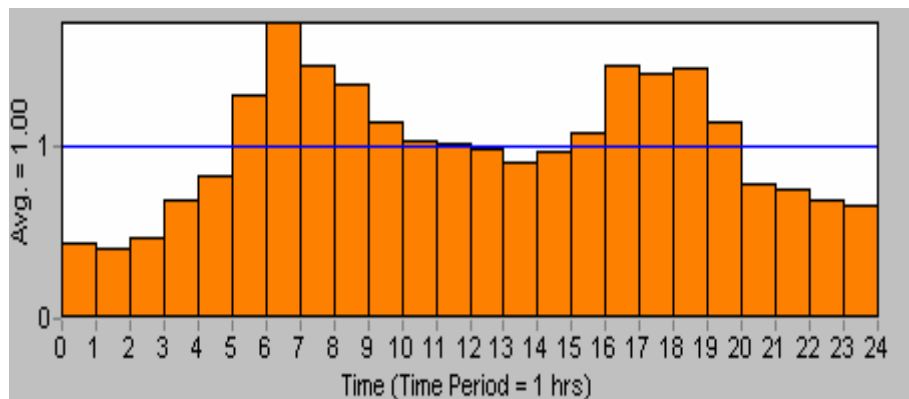
Dalam model simulasi Epanet *demand* tidak dimodelkan dari pipa, tetapi dari *node*. Maka *demand* dari pipa-pipa pada tabel pada lampiran 1 dikumpulkan lagi pada *node-node* diakhir pipa. Rekap *demand* oleh pelanggan selama bulan januari – juli 2006 dari pipa-pipa sekunder dan tersier dapat dilihat pada lampiran 2.

Diasumsikan pola waktu disetting untuk tiap interval waktu 1 jam dan sebuah pola dengan *multiplier* seperti pada tabel 4.8 telah ditentukan sebagai *demand* pada *node* tersebut. Pola *multiplier* tersebut juga berlaku untuk seluruh *node* yang ada pada sistem jaringan.

Tabel 4.13. Penerapan *Multiplier* Sesuai Dengan Variasi *Demand*.

Periode	Multiplier	Periode	Multiplier
1	0.43	13	0.98
2	0.4	14	0.9
3	0.46	15	0.96
4	0.69	16	1.08
5	0.82	17	1.46
6	1.29	18	1.42
7	1.71	19	1.44
8	1.46	20	1.13
9	1.36	21	0.77
10	1.13	22	0.74
11	1.03	23	0.69
12	1.01	24	0.66

Penerapan *multiplier* tersebut bila digambarkan dalam bentuk histogram maka seperti pada gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9. Kurva *Multiplier Variasi Demand Pelanggan Sondakan*.

Untuk memberikan gambaran bagaimana pola waktu yang bekerja pada sebuah *node*, misal pada *node* 6 dengan rata-rata *demand* sebesar 0.51 GPM. Kemudian selama simulasi, aktual *demand* yang digunakan oleh *node* tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 4.14. Jumlah *Demand* Pada *Node* 6 yang Bervariasi Terhadap Waktu

Jam	<i>Demand</i>	Jam	<i>Demand</i>
0	0.22	12	0.5
1	0.2	13	0.46
2	0.23	14	0.49
3	0.35	15	0.55
4	0.42	16	0.74
5	0.66	17	0.72
6	0.87	18	0.73
7	0.74	19	0.58
8	0.69	20	0.39
9	0.58	21	0.38
10	0.53	22	0.35
11	0.52	23	0.34

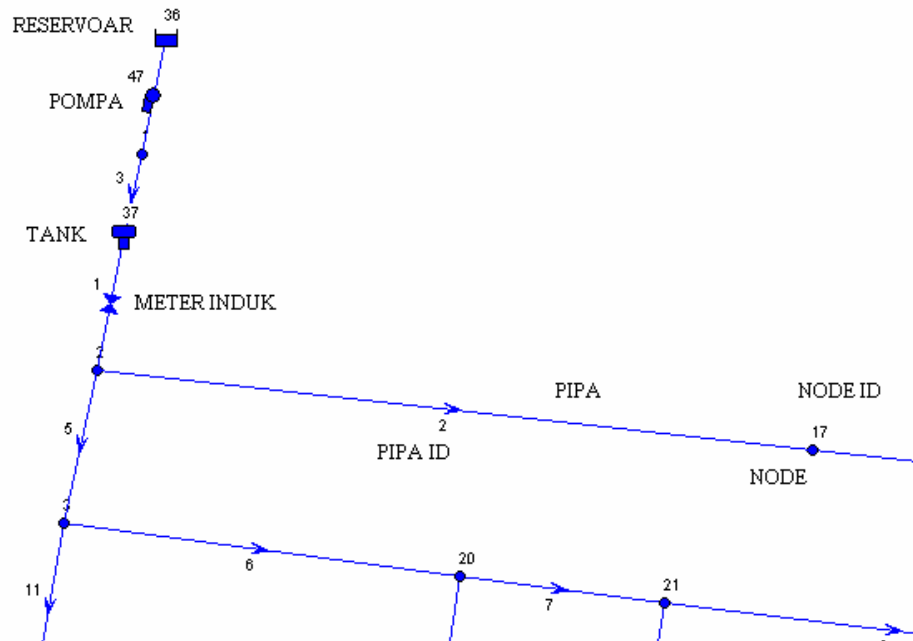
Rat-rata *demand* adalah 0.51 GPM. Dengan adanya *multiplier* 0.43 maka pada jam 00.00 *demand* pada *node* 6 sebesar $0.51 \times 0.43 = 0.22$ GPM. Demikian juga untuk perhitungan *demand* pada jam-jam yang lain.

4.2.3 Hasil Simulasi Hidrolik

Agar dapat mewakili sistem jaringan seperti kondisi yang sesungguhnya maka model jaringan perpipaan juga harus disetting seperti kondisi yang sesungguhnya. Besarnya pemakaian air di Kelurahan Sondakan diketahui dari pembacaan meter induk distrik Kelurahan Sondakan. Meter induk ini dipasang pada pipa distribusi utama yang merupakan satu-satunya pipa distribusi yang mensuplai semua kebutuhan air di Wilayah Sondakan. Dari hasil pembacaan meter induk diperoleh informasi bahwa terjadi variasi aliran air yang masuk ke jaringan wilayah Sondakan yang mana aliran tersebut ternyata menyesuaikan dengan jumlah pemakaian air oleh pelanggan. Hasil pembacaan meter induk dapat dilihat pada lampiran 4.

Untuk menggambarkan sumber air yang masuk kedalam sistem jaringan di wilayah Sondakan tersebut, disimulasikan dengan sebuah pompa yang memompakan air dari sebuah *reservoir* (sumber air alam) kedalam bak penampungan (*tank*). *Tank* berfungsi sebagai bak penampungan sementara sebelum air dialirkan menuju sistem jaringan. Dengan adanya *tank* maka sejumlah produksi air sebagai *supply* untuk jaringan dapat dijaga kontinuitasnya. Ketika pemakaian air oleh pelanggan dibawah kemampuan produksi maka *tank* akan berfungsi sebagai penampung kelebihan air ini, dan sebaliknya ketika jumlah pemakaian air pelanggan lebih besar dari kemampuan produksi maka *tank* akan mendistribusikannya menuju jaringan.

Jumlah produksi air yang dihasilkan oleh pompa adalah tetap, sedangkan jumlah air yang dialirkan dari *tank* menuju jaringan perpipaan berubah-ubah sesuai dengan variasi pemakaian air oleh pelanggan. Sebuah meter induk dipasang antara *tank* dan jaringan perpipaan Kelurahan Sondakan, sehingga total air yang mengalir (disuplai) untuk jaringan wilayah tersebut dapat diketahui. Gambar 4.9. menunjukkan bagaimana air dari sumber dialirkan sampai ke sistem jaringan.



Gambar 4.10. Sistem *Supply* Air Bersih Jaringan Wilayah Sondakan.

Penyelesaian dengan model simulasi Epanet pada sistem jaringan air di Kelurahan Sondakan dilakukan dengan periode simulasi tiap jam selama satu hari (total 24 jam hasil simulasi). Periode simulasi satu jam ini dirancang dengan menggunakan *multiplier* seperti yang telah disetting sebelumnya (lihat pembahasan pola pada bagian sebelumnya) untuk menyesuaikan adanya *demand* yang bervariasi pada tiap jam.

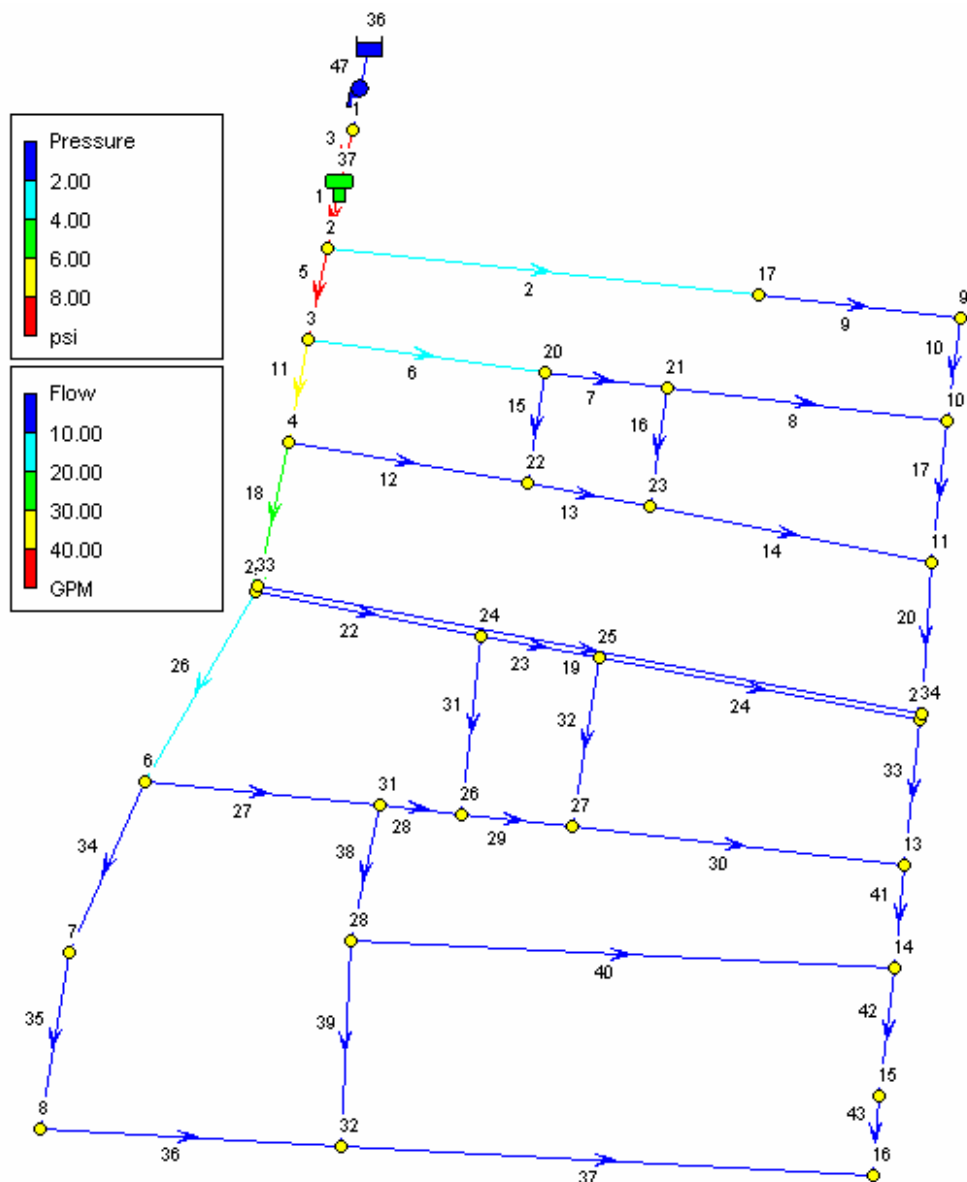
Hasil model simulasi hidraulik Epanet berupa penyelesaian *head* pada *junctions*, aliran *link* untuk level *reservoir* dengan setting tetap, level pada *tank*, dan *demand* air selama bisa terpenuhi pada suatu titik. Solusi *head* dan aliran untuk suatu titik tertentu selama waktu simulasi melibatkan penyelesaian secara simultan persamaan-persamaan untuk *junctions* dan *link* dalam jaringan, yang nantinya akan dibahas dalam penyelesaian secara manual.

Model jaringan akan disimulasikan dalam dua tahap untuk memberikan gambaran secara jelas bagaimana simulasi ini bisa digunakan untuk mendeteksi lokasi kebocoran pada jaringan, yaitu simulasi jaringan total dan simulasi step area.

A. Simulasi Jaringan Keseluruhan

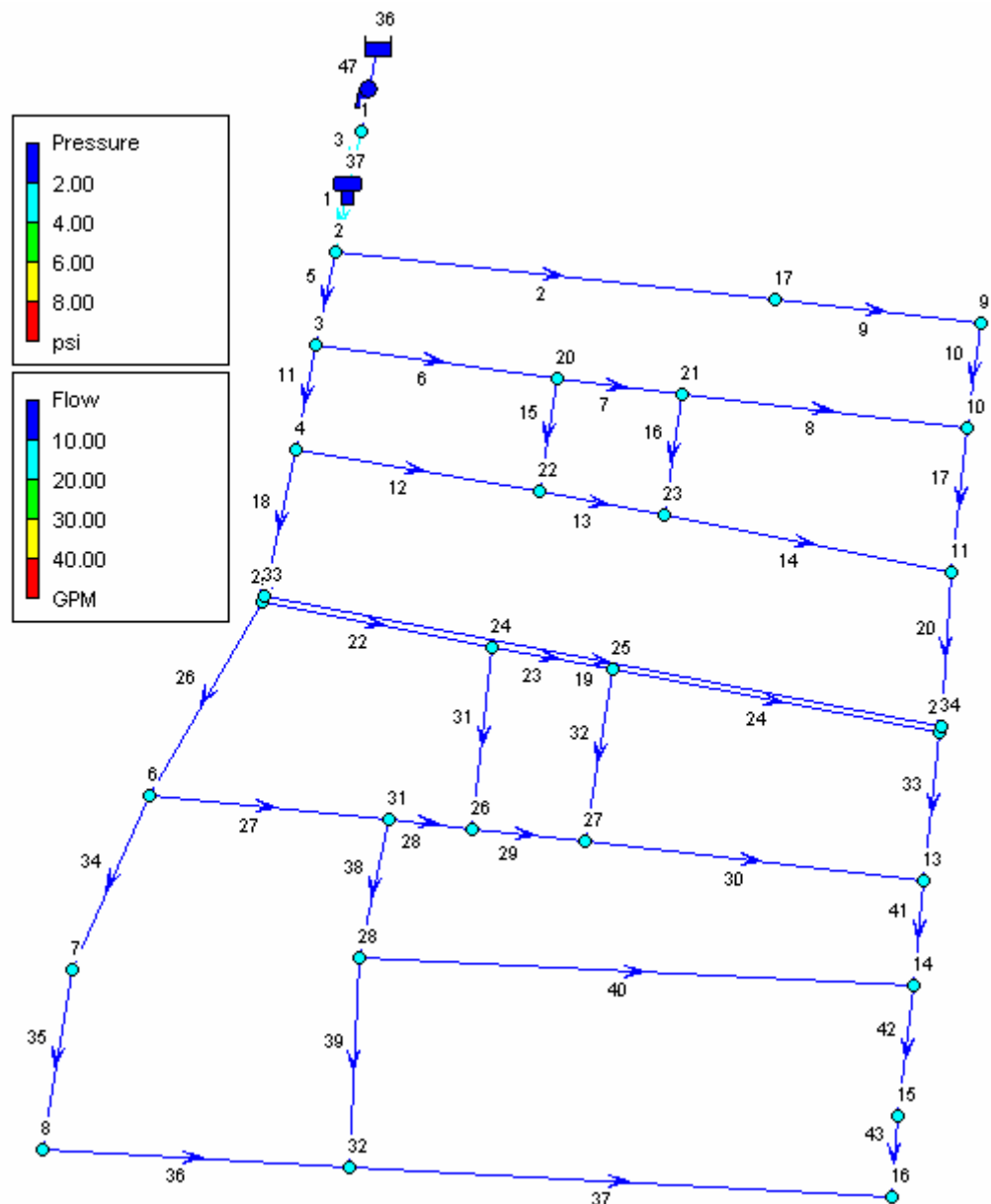
❑ Simulasi aliran pada jam 06.00

Pada gambar 4.10 menunjukkan simulasi aliran pada jam 06.00. dari pola pemakaian air, jam 06.00 adalah jam dimana terjadi tingkat penggunaan air yang paling tinggi. Dari gambar tersebut diketahui bagaimana pola aliran air yang terjadi, berapa besar aliran air pada masing-masing pipa dan berapa tekanan yang terjadi untuk masing-masing *junction*.



Gambar 4.11. Simulasi Aliran Air Pada Jam 06.00.

❑ Simulasi aliran pada jam 01.00

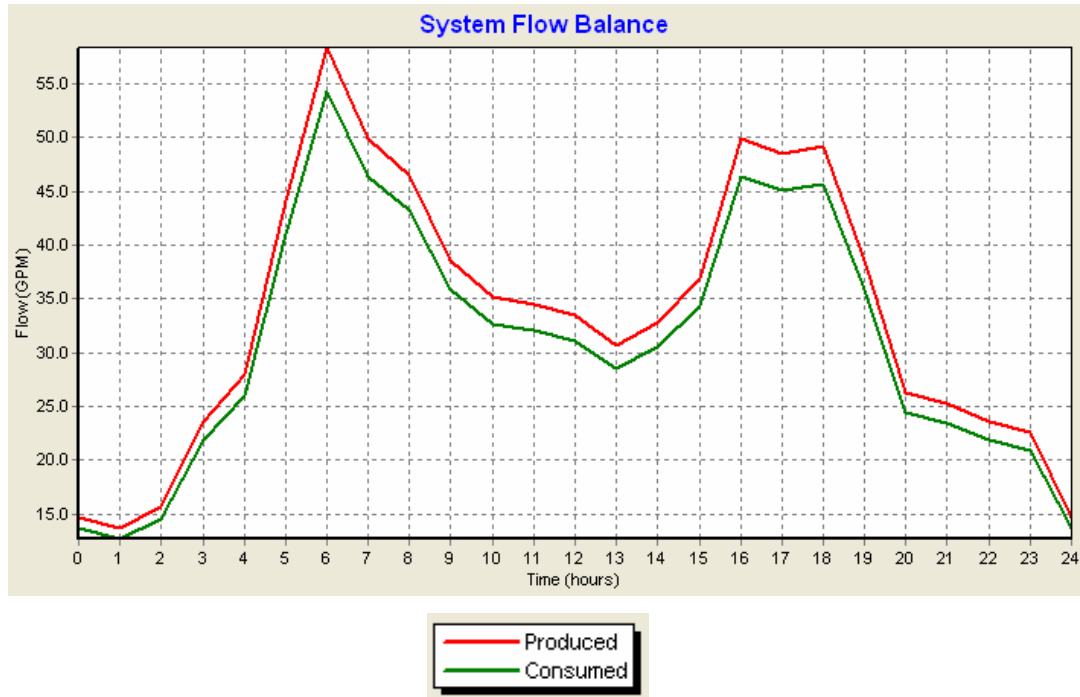


Gambar 4.12. Simulasi Aliran Air Pada Jam 01.00.

Pada gambar 4.12 menunjukkan simulasi aliran pada jam 01.00. dari pola pemakaian air, jam 01.00 adalah jam dimana terjadi tingkat penggunaan air yang paling rendah. Dari gambar diatas diketahui bagaimana pola aliran air yang terjadi, berapa besar aliran air pada masing-masing pipa dan berapa tekanan yang terjadi untuk masing-masing *junction*. Terlihat terjadi penurunan aliran pada tiap pipa dan juga penurunan tekanan pada tiap *junction*. Dengan berkurangnya *demand* pada tiap *node* maka jumlah aliran pada pipa juga berkurang sehingga

kecepatan aliran pada pipa juga berkurang. Dengan berkurangnya kecepatan aliran pada pipa menyebabkan tekanan pada *junction* juga berkurang.

❑ Sistem Keseimbangan Aliran



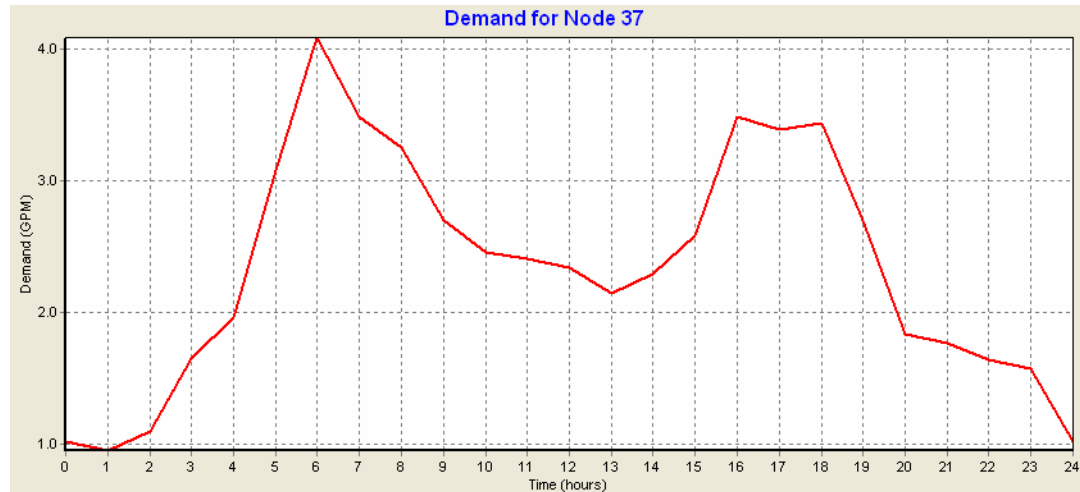
Gambar 4.13. Sistem Keseimbangan *Supply* dan *Demand*.

Pada gambar 4.12 menunjukkan sistem keseimbangan antara *supply* dan *demand* air pada sistem jaringan secara keseluruhan. Terlihat pada gambar jumlah produksi yang melebihi jumlah konsumsi. Jumlah produksi adalah jumlah air yang dialirkan kedalam jaringan perpipaan melalui pipa distribusi utama. Nilai ini berasal dari pembacaan meter induk. Sedangkan jumlah konsumsi adalah jumlah pemakaian air oleh pelanggan yang diperoleh dari rata-rata tagihan bulanan (besarnya tagihan bulanan selama 7 bulan dapat dilihat pada lampiran 5).

Dengan kondisi aliran produksi dan konsumsi seperti gambar diatas, berarti diketahui bahwa telah terjadi kebocoran air pada jaringan distribusi wilayah sondakan, sebesar selisih antara nilai produksi dan nilai konsumsi. Pada simulasi, kurva produksi adalah interpretasi aliran air untuk pipa 3, yaitu besarnya aliran air dari *reservoir* menuju *tank*. Sedangkan kurva konsumsi merupakan interpretasi aliran air untuk pipa 1, yaitu besarnya aliran air dari *tank* menuju

sistem jaringan. Selisih aliran antara dua pipa tersebut diidentifikasi sebagai besarnya aliran kebocoran, dan sejumlah air yang bocor ini selanjutnya akan tertampung didalam bak penampungan (*tank*).

□ *Demand* pada *tank* (besar kebocoran)



Gambar 4.14. Kurva Aliran Air Pada *Tank*

Pada gambar 4.13 menunjukkan bagaimana variasi aliran air yang masuk pada *tank*. Dari kurva tersebut juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi besarnya aliran kebocoran. Peningkatan *demand* pada *tank* berarti peningkatan aliran kebocoran dan penurunan *demand* pada *tank* berarti penurunan aliran kebocoran. Terlihat pola aliran yang sama dengan pola *demand*. Ketika pemakaian air mencapai puncak tertinggi pada jam 06.00 yaitu sebesar 54.31 galon permenit (gpm) (lihat lampiran 6) aliran kebocoran air juga mencapai puncak yaitu sekitar 4 gpm. Dan ketika pemakaian air mencapai nilai terendah pada jam 01.00 yaitu sebesar 12.70 gpm aliran kebocoran air juga mencapai nilai terendah yaitu sekitar 1 gpm.

Besarnya kebocoran air dapat dihitung dengan melihat karakteristik akhir pada *tank* yaitu setelah akhir simulasi pada jam 24.00 (lihat gambar 4.15).

Tank 37	
Property	Value
*Tank ID	37
X-Coordinate	953.13
Y-Coordinate	10177.08
Description	
Tag	
*Elevation	20
*Initial Level	2
*Minimum Level	0
*Maximum Level	100
*Diameter	3
Minimum Volume	
Volume Curve	
Mixing Model	Mixed
Mixing Fraction	
Reaction Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	1.03
Elevation	87.14
Pressure	29.09
Quality	0.00

Gambar 4.15. Karakteristik *Tank* Pada Jam 24.00.

Dari karakteristik *tank* pada jam 24.00. diketahui ketinggian permukaan air pada *tank* adalah 87.14 ft, dengan ketinggian *tank* 20.ft dan ketinggian permukaan air awal 2 ft. Dengan diameter *tank* 3 ft maka dapat dihitung:

Ketinggian penambahan air:

$$87.14 - 2 - 20 = 65.14 \text{ ft}$$

Volume *tank*:

$$65.14 \times (3.14 \times 1.5^2) = 460.2141 \text{ ft}^3$$

Besarnya kebocoran air selama satu hari adalah 460.2141 ft^3 (13031.81 liter) atau sebesar 7% dari total produksi.

❑ Hasil Simulasi Nodal *Head* dan *Pipe Flow*

Pada tabel pada lampiran 6 diperoleh hasil perhitungan numerik dengan simulasi Epanet untuk aliran tiap pipa tiap interval periode simulasi satu jam. Dengan melihat berapa besar aliran pipa yang terjadi dan berapa *demand* yang dibutuhkan pada tiap *node* (lihat lampiran 7) maka akan dapat diketahui kondisi keseimbangan *supply* dan *demand* secara tepat.

B. Simulasi Step Area

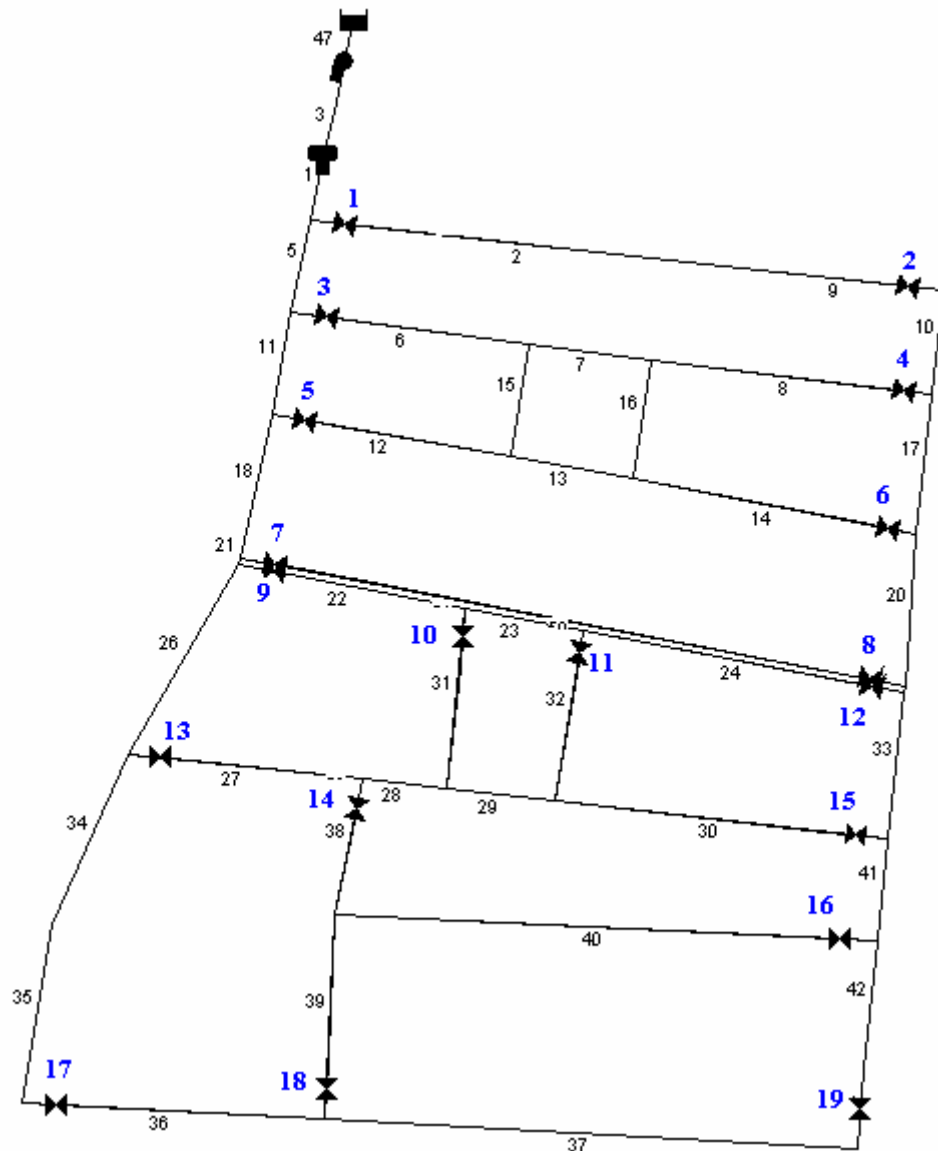
Dari simulasi secara keseluruhan diketahui bahwa telah terjadi kebocoran air di jaringan wilayah Sondakan. Hasil simulasi tersebut hanya bisa digunakan untuk mendeteksi kebocoran pada Distrik Sondakan secara keseluruhan, dan belum diketahui dimana titik-titik terjadinya kebocoran. Padahal tidaklah mungkin bila ingin dilakukan perbaikan jaringan secara keseluruhan karena hal ini akan membutuhkan biaya yang sangat besar. Maka perlu dilakukan simulasi tahap selanjutnya yaitu simulasi step area. Simulasi step area dilakukan untuk mengetahui pada jalur-jalur pipa yang mana, yang terjadi kebocoran dan berapa besar tingkat kebocoran tersebut.

Simulasi step area ini berupa usulan pada pihak PDAM Surakarta dalam rangka untuk mendeteksi dimana area-area yang memiliki tingkat kebocoran tinggi. Untuk mendeteksi kebocoran dengan simulasi step area ini harus dilakukan dengan adanya kesepakatan dengan pihak PDAM, karena harus melibatkan banyak pihak, dan mengganggu sistem distribusi aliran untuk sementara waktu. Dalam simulasi ini harus dilakukan penutupan beberapa katup yang memisahkan masing-masing step area dari jaringan secara keseluruhan.

Simulasi dapat dilakukan pada salah satu kondisi aliran distribusi (selama 24 jam ada 24 tipe aliran). Agar diperoleh hasil simulasi yang lebih baik maka sebaiknya dilakukan simulasi untuk jam-jam dimana fluktuasi pemakaian air diperkirakan kecil. Fluktuasi pemakaian air terkecil yaitu pada malam hari pada pukul 01.00, maka simulasi dan penutupan katup juga dilakukan untuk jam 01.00.

Dengan diketahuinya step area yang mempunyai tingkat kebocoran tinggi maka akan dapat dilakukan perbaikan secara efektif, selanjutnya oleh pihak PDAM bisa dilakukan perbaikan pada sistem jaringan distribusinya. Perbaikan

tersebut dapat berupa penggantian pipa, perbaikan sambungan, penggantian meter air, dsb.



Gambar 4.16. Posisi Katup Pada Jaringan Perpipaan Distrik Sondakan

Gambar 4.16. menunjukkan posisi dari katup-katup pada pipa jaringan distribusi di lokasi Distrik Sondakan. Dengan adanya sejumlah katup tersebut maka dapat diusulkan pembentukan beberapa step area. Tabel 4.9. memberikan usulan step area yang dapat terbentuk melalui penutupan beberapa katup.

Tabel 4.15. Pembentukan Step Area

Step area	Penutupan katup	Deteksi pipa
I	1,2	2,9
II	3,4,5,6	6,7,8,12,13,14,15,16
III	7,8	19
IV	9,10,11,12	22,23,24
V	10,11,13,14,15	27,28,29,30,31,32
VI	14,16,18	38,39,40
VII	17,18,19	36,37
VIII	2,4,6,8,12,15,16,19	10,17,20,25,33,41,42,43
IX	1,3,5,7,9,13,17	1,5,11,18,21,26,34,35

Misalnya kita ingin mendeteksi apakah terjadi kebocoran air pada step area I yang terdiri dari pipa 2 dan 9. Langkah awal adalah menutup katup yang menghubungkan antara pipa 2 dengan *junction* 2 (katup 1) dan pipa 10 dengan *junction* 10 (katup 2). Dengan penutupan katup tersebut diharapkan pipa 2 dan 9 tidak mendapat suplai air sama sekali sehingga pipa-pipa tersebut benar-benar terisolasi dari sistem jaringan. Setelah pipa-pipa tersebut terisolasi maka dilakukan pengamatan aliran air pada meter induk yang telah dipasang. Jika terjadi kondisi normal atau tidak terjadi kebocoran pada pipa-pipa tersebut maka pengurangan aliran air yang terbaca pada meter induk harus sama dengan pengurangan pemakaian air sebanyak jumlah yang dikonsumsi oleh pelanggan yang melakukan tapping pada dua pipa tersebut. Namun jika terjadi kondisi dimana jumlah pengurangan aliran air yang terbaca pada meter induk lebih besar dari pengurangan pemakaian air yang dikonsumsi oleh pelanggan berarti terjadi kebocoran pada pipa-pipa tersebut. Besarnya kebocoran yang terjadi pada step area I adalah selisih antara aliran air yang terbaca pada meter induk dengan jumlah pemakaian air oleh pelanggan.

BAB V

ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

5.1. ANALISIS PENYELESAIAN *SIMULTANIOUS LOOP EQUATION METHOD*

Penyelesaian *Simultaneous Loop equation method* adalah penyelesaian persamaan-persamaan dalam jaringan perpipaan berdasarkan pada hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan energi. Dengan kekekalan massa maka jumlah air yang masuk dalam jaringan harus sama dengan jumlah yang keluar dari jaringan. Dengan adanya ketentuan tersebut maka besarnya aliran pada tiap-tiap pipa dan *headloss* (kehilangan energi) selama air mengalir sepanjang pipa dapat ditentukan.

5.1.1 Analisis Nilai Koreksi Pada Loop

Pada penyelesaian persamaan *Simultaneous Loop equation method* telah dihitung nilai aliran yang optimal pada masing-masing pipa dengan pertimbangan penyebaran *head* air. Pada awalnya nilai aliran ditentukan secara acak namun dengan pertimbangan tetap memenuhi hukum kekekalan massa (*input* sama dengan *output*). Iterasi pertama dilakukan untuk menentukan besar nilai koreksi untuk aliran awal. Nilai koreksi inilah yang akan digunakan untuk memperbaiki aliran awal yang telah ditentukan secara acak tersebut. Demikian selanjutnya dilakukan iterasi kedua pada nilai aliran yang telah diperbaiki pada iterasi pertama tersebut. Dari sini diperoleh nilai koreksi kedua untuk aliran kedua. Selanjutnya nilai koreksi ini akan digunakan untuk memperbaiki aliran kedua tersebut. Nilai koreksi kedua pasti lebih kecil dari nilai koreksi pertama, karena nilai aliran telah semakin mendekati nilai yang sebenarnya dengan adanya perbaikan aliran. Demikian seterusnya dilakukan iterasi selanjutnya sampai diperoleh nilai koreksi yang minimum atau bahkan nol.

Dalam penelitian ini dilakukan hingga 10 kali iterasi (berarti 10 kali perbaikan aliran) sampai diperoleh nilai koreksi minimum. Sebenarnya iterasi selanjutnya masih bisa dilakukan tapi hanya akan diperoleh nilai koreksi yang sangat kecil, sehingga perubahannya terhadap aliran juga sangat kecil, maka perbaikan ini bisa diabaikan. Tabel 5.1 adalah tabel nilai koreksi pada masing-masing iterasi.

Tabel 5.1. Nilai Koreksi Loop Untuk Tiap Iterasi Dengan

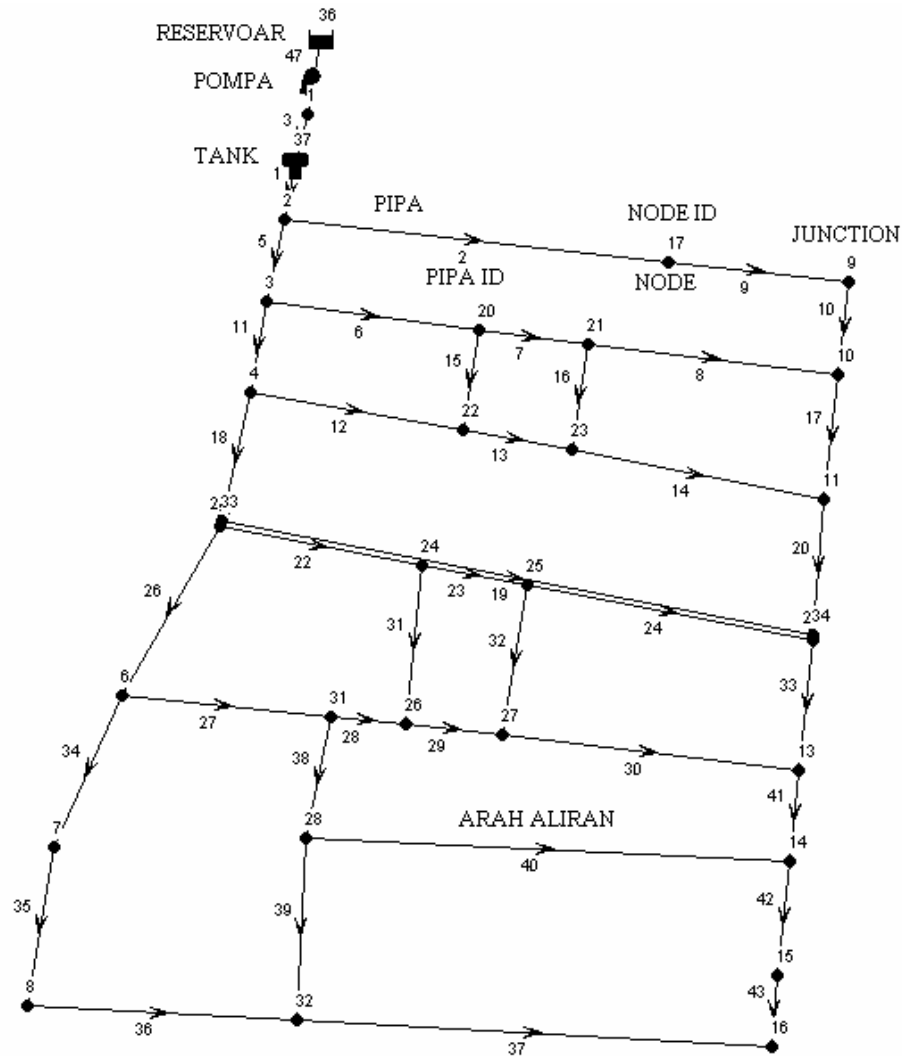
Simultaneous Loop Equation Method.

Loop	$\Delta Q^{(1)}$	$\Delta Q^{(2)}$	$\Delta Q^{(3)}$	$\Delta Q^{(4)}$	$\Delta Q^{(5)}$	$\Delta Q^{(6)}$	$\Delta Q^{(7)}$	$\Delta Q^{(8)}$	$\Delta Q^{(9)}$	$\Delta Q^{(10)}$
Loop 1	0.01008	-0.00441	-0.00040	0.00013	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 2	0.02238	-0.00904	-0.00066	0.00028	-0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 3	0.02079	-0.00922	-0.00081	0.00028	-0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 4	0.01893	-0.00877	-0.00116	0.00023	-0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 5	0.01998	-0.00899	-0.00071	0.00024	-0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 6	0.01523	-0.00816	-0.00014	0.00022	-0.00005	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 7	0.01900	-0.00263	-0.00058	0.00015	-0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 8	0.01432	-0.00337	-0.00086	0.00014	-0.00005	-0.00001	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 9	0.01215	-0.00441	-0.00101	0.00004	-0.00005	-0.00001	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 10	0.00201	-0.00180	-0.00008	0.00001	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Loop 11	0.00067	-0.00386	-0.00056	-0.00015	-0.00010	-0.00004	-0.00002	-0.00001	-0.00001	0.00000
Loop 12	-0.00158	-0.00052	0.00030	0.00018	0.00007	0.00004	0.00002	0.00001	0.00000	0.00000
Loop 13	0.01008	-0.00441	-0.00040	0.00013	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Terlihat nilai koreksi yang makin kecil dengan dilanjutkannya itersi. Misalnya nilai koreksi untuk loop 1, nilai koreksi awal adalah 0.01008 kemudian menjadi -0.00441 pada iterasi kedua. Demikian seterusnya akan menjadi lebih kecil dengan iterasi berikutnya hingga akhirnya sampai pada nilai koreksi 0.0000. Hal ini menunjukkan aliran pada pipa telah dilakukan perbaikan dan semakin mendekati nilai sesungguhnya. Dalam hal ini ketetapan tanda masih disepakati, sehingga nilai koreksi negatif menunjukkan perbaikan yang dilakukan berlawanan arah dengan arah perbaikan yang telah dilakukan sebelumnya dengan besar koreksi aliran yang sama.

5.1.2 Analisis Aliran Air Pada Pipa

Dari perhitungan dengan metode *Simultaneous Loop equation method* untuk penyelesaian persamaan aliran air dalam jaringan perpipaan diperoleh hasil akhir berupa arah aliran dan besar aliran pada masing-masing pipa. Arah aliran air pada jaringan dapat dilihat seperti pada gambar 5.1. Anak panah pada masing-masing pipa menggambarkan arah aliran.



Gambar 5.1. Komponen Fisik Dalam Jaringan Distribusi Air Kelurahan Sondakan

Arah aliran seperti pada gambar diatas adalah arah aliran iterasi terakhir. Setiap kali dilakukan satu iterasi maka akan diperoleh suatu nilai koreksi yang mana nilai koreksi ini akan digunakan untuk memperbaiki aliran sebelumnya. Demikian sehingga dalam satu kali penyelesaian bisa saja terjadi berkali-kali perubahan arah aliran. Namun setelah mulai mendekati nilai aliran yang optimal terlihat arah aliran juga mulai terlihat konstan.

Gambar 5.1 diatas menggambarkan arah aliran air pada pipa sedangkan besarnya aliran pada pipa dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut ini. Terlihat

Tabel 5.2. Perbaikan Aliran Pada Pipa dengan
Simultaneous Loop equation method (Dalam Gpm)

Pipa	$Q^{(0)}$	$Q^{(1)}$	$Q^{(2)}$	$Q^{(3)}$	$Q^{(4)}$	$Q^{(5)}$	$Q^{(6)}$	$Q^{(7)}$	$Q^{(8)}$	$Q^{(9)}$	$Q^{(10)}$
------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Pipa 2	10,00	14,53	12,55	12,37	12,43	12,42	12,42	12,42	12,42	12,42	12,42
Pipa 5	44,31	39,78	41,76	41,94	41,88	41,89	41,89	41,89	41,89	41,89	41,89
Pipa 6	8,00	13,52	11,44	11,33	11,39	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38
Pipa 7	6,85	11,65	9,50	9,31	9,38	9,37	9,37	9,37	9,37	9,37	9,37
Pipa 8	3,15	7,12	5,17	4,82	4,87	4,86	4,86	4,86	4,86	4,86	4,86
Pipa 9	2,60	7,13	5,15	4,97	5,03	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02
Pipa 10	0,58	5,11	3,13	2,95	3,01	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Pipa 11	36,31	26,26	30,32	30,62	30,49	30,51	30,51	30,51	30,51	30,51	30,51
Pipa 12	6,00	4,92	4,95	4,92	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91
Pipa 13	3,92	3,56	3,66	3,71	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
Pipa 14	3,27	3,74	3,64	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
Pipa 15	0,50	1,22	1,30	1,37	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Pipa 16	0,50	1,33	1,13	1,29	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
Pipa 17	0,89	9,39	5,45	4,93	5,03	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02
Pipa 18	30,31	21,34	25,38	25,69	25,59	25,60	25,60	25,60	25,60	25,60	25,60
Pipa 19	6,00	3,86	4,24	4,49	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48
Pipa 20	0,77	9,74	5,70	5,39	5,49	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48
Pipa 21	24,31	17,48	21,14	21,20	21,10	21,12	21,12	21,13	21,13	21,13	21,13
Pipa 22	3,00	4,69	7,18	6,98	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95
Pipa 23	2,21	1,80	3,95	3,63	3,60	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59
Pipa 24	1,71	0,33	2,01	1,63	1,55	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Pipa 25	0,63	7,46	3,80	3,74	3,84	3,82	3,82	3,81	3,81	3,81	3,81
Pipa 26	21,31	12,78	13,96	14,22	14,16	14,17	14,17	14,18	14,18	14,18	14,18
Pipa 27	15,00	7,38	7,75	7,98	7,91	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92
Pipa 28	10,94	2,72	2,16	2,17	2,04	2,01	1,99	1,99	1,98	1,98	1,98
Pipa 29	10,40	4,27	4,06	4,19	4,06	4,04	4,02	4,02	4,01	4,01	4,01

Lanjutan Tabel 5.2. Perbaikan Aliran Pada Pipa dengan
Simultaneous Loop equation method (Dalam Gpm)

Pipa	$Q^{(0)}$	$Q^{(1)}$	$Q^{(2)}$	$Q^{(3)}$	$Q^{(4)}$	$Q^{(5)}$	$Q^{(6)}$	$Q^{(7)}$	$Q^{(8)}$	$Q^{(9)}$	$Q^{(10)}$
Pipa 30	9,94	4,79	5,04	5,24	5,15	5,13	5,12	5,11	5,11	5,10	5,10
Pipa 31	0,50	2,60	2,93	3,06	3,06	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
Pipa 32	0,50	1,48	1,94	2,00	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
Pipa 33	1,04	6,49	4,52	4,06	4,08	4,06	4,05	4,05	4,05	4,05	4,05
Pipa 34	5,44	4,54	5,34	5,38	5,37	5,38	5,38	5,38	5,39	5,39	5,39
Pipa 35	3,39	2,49	3,29	3,33	3,32	3,33	3,33	3,33	3,34	3,34	3,34
Pipa 36	3,00	2,10	2,90	2,94	2,93	2,94	2,94	2,94	2,95	2,95	2,95
Pipa 37	0,19	0,90	1,14	1,00	0,92	0,89	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86
Pipa 38	3,00	3,60	4,53	4,74	4,81	4,85	4,87	4,88	4,88	4,88	4,88
Pipa 39	1,50	3,11	2,54	2,37	2,29	2,26	2,24	2,23	2,23	2,22	2,22
Pipa 40	0,51	-0,50	2,00	2,39	2,54	2,61	2,64	2,66	2,67	2,68	2,68
Pipa 41	7,90	8,20	6,47	6,22	6,15	6,11	6,09	6,08	6,08	6,07	6,07
Pipa 42	5,26	4,55	4,31	4,45	4,53	4,56	4,58	4,59	4,59	4,59	4,59
Pipa 43	2,76	2,05	1,81	1,95	2,03	2,06	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09

Dari tabel diatas terlihat bahwa pada tiap pipa telah dilakukan perbaikan aliran. Terlihat aliran pada masing-masing pipa sebelum dilakukan iterasi (Q^0), pada iterasi pertama (Q^1) dan iterasi terakhir (Q^{10}). Untuk pipa 2 misalnya, aliran awal (Q^0) yang ditentukan secara acak untuk pipa ini adalah 10 GPM. Pada hasil iterasi pertama (Q^1) diperoleh perbaikan sehingga aliran menjadi 14.52509 GPM dan pada hasil iterasi terakhir (Q^{10}) dimana nilai aliran telah optimal diperoleh aliran akhir sebesar 12.41752 GPM. Perbaikan aliran untuk pipa ini terlihat semua nilai bertanda positif, hal ini menunjukkan bahwa arah aliran pada asumsi awal yang digunakan hingga iterasi telah benar yaitu alir mengalir dari *node* 2 menuju *node* 17.

Berbeda dengan pipa 40, pada asumsi arah aliran awal (Q^0) nilai aliran adalah positif yaitu 0.51 GPM, namun pada iterasi pertama (Q^1) diperoleh nilai aliran negatif yaitu sebesar – 0.50338 GPM, hal ini menunjukkan bahwa telah dilakukan perbaikan aliran dari 0.51 menjadi 0.50338 dan juga perbaikan arah aliran dimana pada iterasi ke-2 arah aliran berlawanan arah dengan asumsi arah aliran pada aliran awal. Asumsi awal arah aliran adalah dari *node* 28 menuju *node* 14, namun pada iterasi kedua ini arah aliran berbalik menjadi dari *node* 14 menuju

node 28. Demikian juga pada iterasi terakhir (Q^{10}) diperoleh nilai aliran kembali positif yaitu sebesar 2.67776 GPM. Dengan demikian berarti aliran air kembali berlawanan arah dengan asumsi arah aliran pada iterasi sebelumnya. Dengan demikian diketahui bahwa asumsi arah aliran awal yang ditentukan telah benar, yaitu dari *node* 28 menuju *node* 14, namun karena nilai aliran pada loop yang terlalu jauh dari nilai optimal maka dalam perbaikan perlu dilakukan perubahan nilai aliran yang cukup besar bahkan sampai dilakukan perubahan arah aliran.

5.2. ANALISIS *OUTPUT* EPANET

Pada model seperti gambar 5.1, *reservoir*, pompa dan *tank* ditambahkan pada sistem jaringan yang sesungguhnya ketiga komponen tersebut tidak ada. Hal itu disebabkan karena wilayah Sondakan merupakan bagian kecil dari sistem jaringan perpipaan PDAM Surakarta yang tersebar diseluruh wilayah Karisidenan Surakarta. Maka *reservoir* dan pompa yang sesungguhnya berada dilokasi sumber air (baik instalasi pengolahan air ataupun sumber sumur dalam) disertakan juga dalam model agar simulasi dapat dijalankan. Demikian juga *tank* sebagai bak akhir penampungan disertakan juga dalam simulasi walaupun sebenarnya komponen ini tidak ada dalam sistem jaringan perpipaan di wilayah Sondakan.

5.2.1. *Junctions*

Setelah simulasi dijalankan maka akan diperoleh nilai *output* pada *junction* berupa *actual demand*, *total head* dan tekanan. *Actual demand* merupakan *demand* sesungguhnya pada suatu *junction* dengan adanya penerapan *multiplier*. *Total head* air pada suatu *junction* berubah-ubah dipengaruhi oleh besarnya energi dari sumber awal. Dengan semakin menjauhi sumber air maka *head* yang dikirim akan semakin kecil karena adanya energi friksi (pengurangan energi karena adanya gesekan) antara air dengan pipa.

Untuk *junctions* 17 misalnya *output actual demand* sebesar 1.86 GPM nilai ini diperoleh dari adanya *base demand* sebesar 4.33 GPM dengan *multiplier* sebesar 0.43 pada jam 00.00. Total energi yang masih bisa dikirim hingga titik tersebut sebesar 21.99 ft dan tekanan aliran air sebesar 3.03 psi. Energi dan

tekanan sebesar itu masih cukup besar untuk bisa mengalirkan air sampai pada konsumen.

5.2.2. *Reservoir*

Reservoir digambarkan sebagai sumber air di alam yang jumlahnya tidak terbatas. Sehingga dari *reservoir* ini air dipompakan untuk langsung didistribusikan ataupun dialirkan menuju bak penampungan. *Setting* *reservoir* berupa total *head* sebesar 15 ft menggambarkan ketinggian air yang akan didistribusikan diatas permukaan laut. Walaupun total *head reservoir* disetting sama dengan elevasi *junction* akan tetapi air masih tetap bisa dialirkan dari *reservoir* menuju ke *junction* karena antara keduanya dihubungkan dengan pompa yang selain memompakan air juga sekaligus menambah *head* air yang dikirim.

Dikarenakan *reservoir* adalah titik batasan pada sebuah jaringan, *head* dan kualitas air pada *reservoir* tidak dapat dipengaruhi oleh apapun yang terjadi didalam jaringan. Oleh karena itu *reservoir* tidak memiliki hasil perhitungan sebagai *output*. Sungguhpun demikian *head* sebuah *reservoir* dapat dirancang bervariasi terhadap waktu dengan adanya penugasan berdasar pola waktu tertentu.

5.2.3. *Tank* (penampungan)

Bak penampung sementara sebelum air didistribusikan keseluruh jaringan sering disebut dengan istilah *tank*. *Tank* selain berfungsi *supplier* air ketika jumlah *demand* diatas kemampuan produksi juga berfungsi untuk menjaga tekanan air agar tetap berada pada suatu nilai minimal tertentu sehingga air tetap dapat dikirim sampai pada lokasi terjauh dalam jaringan. *Setting tank* berupa elevasi, inisial level, minimal level, maksimal level dan diameter. Secara umum program aplikasi epanet akan menyeting bentuk *tank* berupa tabung lingkaran (walaupun bisa juga disetting dengan bentuk lain dengan ukuran yang disesuaikan).

Setting elevasi untuk *tank* sebesar 20 ft DPL, 5 ft lebih tinggi dari ketinggian *junction*. Nilai ini diperoleh dari uji coba dengan simulasi epanet sehingga diperoleh besarnya *head* dan tekanan yang sesuai dengan kondisi pada jaringan yang telah diukur. Inisial level air pada *tank* sebesar 2 ft adalah level air awal pada saat simulasi epanet mulai dijalankan. Enisial level ini berfungsi

sebagai *supplier* air sementara sebelum pompa dapat memompakan air menuju *tank*. Minimum level untuk *tank* sebesar 0 menunjukkan level air minimum yang diijinkan pada simulasi. Simulasi akan berhenti bila level air pada *tank* berada dibawah nilai minimum ini. Sedangkan maksimum level untuk *tank* sebesar 100 ft adalah menunjukkan level air maksimal yang diijinkan pada simulasi. Simulasi akan juga akan berhenti bila level air pada *tank* berada diatas nilai maksimum ini. Sedangkan diameter *tank* disetting sebesar 3 ft.

Nilai *setting* untuk *tank* tersebut hanya diterapkan pada kawasan distribusi Kelurahan Sondakan. Nilai-nilai parameter *setting* tersebut disesuaikan dengan kondisi sistem jaringan yang ada sehingga dengan nilai-nilai tersebut akan bisa diperoleh nilai aliran, *head* dan tekanan sebagaimana kondisi sesungguhnya untuk wilayah Sondakan.

Nilai *output* yang diperoleh setelah simulasi dijalankan adalah berupa net *inflow*, elevasi dan tekanan. *Net inflow* sebesar 1.03 GPM menggambarkan besarnya aliran yang masuk menuju ke *tank* pada saat jam simulasi dijalankan yaitu jam 00.00. Elevasi pada *output* sebesar 22.00 ft bukan menunjukkan ketinggian *tank* sebagaimana elevasi pada input tetapi menunjukkan level ketinggian permukaan air yang ada di dalam *tank* tetap dalam DPL. Padahal ketinggian dasar *tank* adalah 20.00 ft, sehingga pada jam 00.00 tinggi permukaan air adalah 2 ft. Sedangkan nilai tekanan 0.87 psi menunjukkan besarnya tekanan air pada dasar permukaan *tank*, semakin tinggi elevasi *output* maka tekanan air yang dihasilkan juga akan semakin besar.

5.2.4. Pipa

Setting pada pipa meliputi panjang pipa, diameter pipa dan koefisien kekasaran. Selama air mengalir dalam pipa maka akan terjadi pengurangan *head* air (*headloss*) yang disebabkan oleh gesekan atau friksi antara air dan pipa, besarnya gesekan ini tergantung pada koefisien kekasaran pipa.

Output untuk pipa setelah *running* simulasi berupa debit aliran, kecepatan aliran, unit *headloss* dan faktor friksi. Contoh debit aliran untuk pipa 2 sebesar 3.07 GPM dengan kecepatan 0.08 ft/second. Aliran ini seragam sepanjang pipa. Unit *headloss* sebesar 0.01 adalah besarnya *headloss* aliran pada suatu pipa untuk

tiap 1000 ft panjang pipa. Sedangkan faktor friksi sebesar 0.036 adalah besarnya faktor gesekan antara air dan pipa yang menyebabkan pengurangan *head* air.

5.2.5. Pompa

Pompa adalah link yang memberikan energi kepada fluida sehingga dengan demikian menaikkan *head* hidrolik. Parameter input untuk sebuah pompa adalah awal dan akhir *node* yang dihubungkannya dan bentuk kurvanya (kombinasi antara *head* dan aliran yang dihasilkan oleh pompa). Parameter *output* dari pompa juga berupa *head* dan aliran. Aliran yang melalui pompa adalah satu arah dan epanet tidak dapat mengoperasikan diluar batas *range* kurva pompa tersebut.

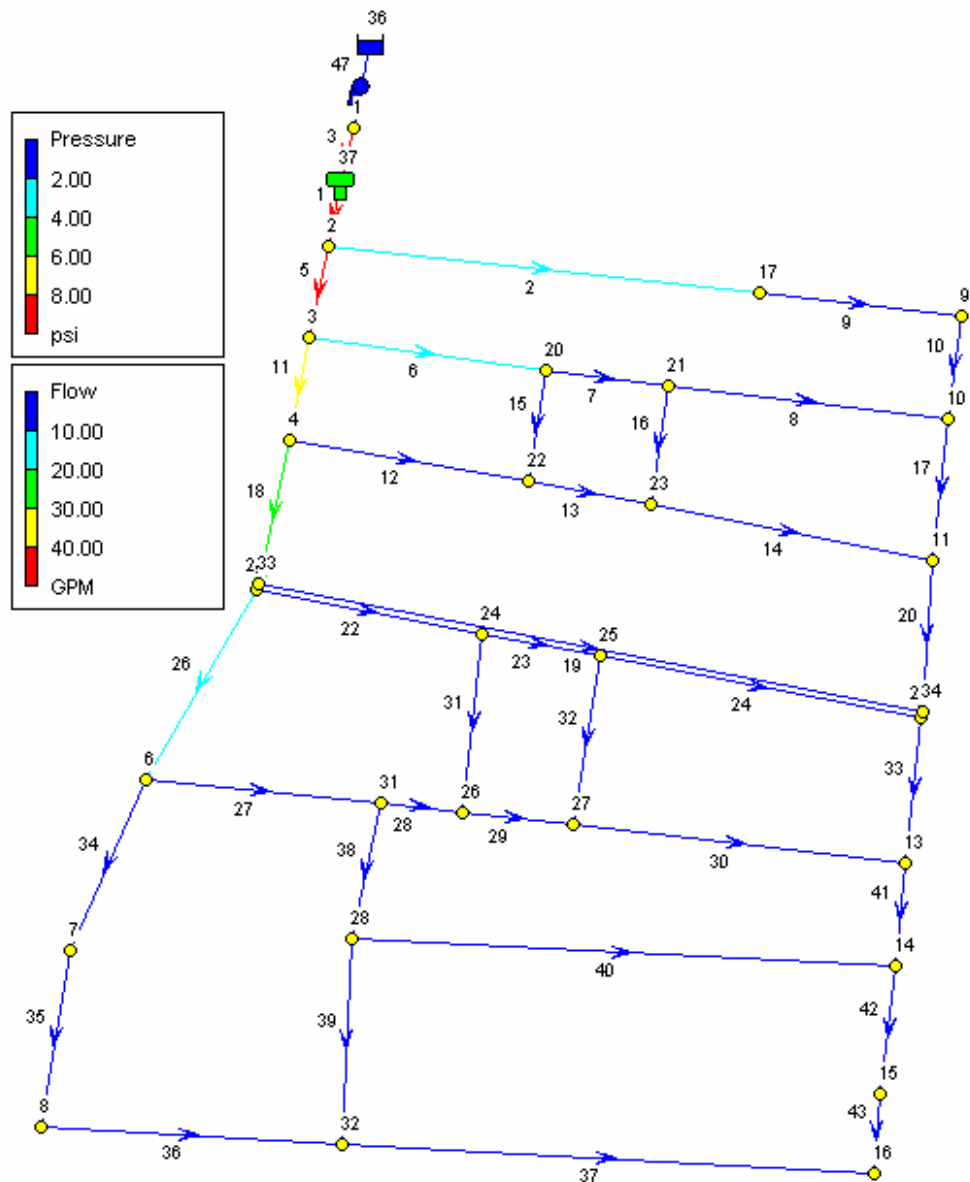
5.3. ANALISIS SIMULASI HIDROLIK

Simulasi hidrolik menggambarkan bagaimana model distribusi aliran pada saat dijalankannya simulasi. Hasil dari simulasi hidrolik merupakan perhitungan parameter-parameter pada model jaringan setelah dijalankannya simulasi. *Output* nilai-nilai parameter dari simulasi hidrolik berupa besarnya aliran pada pipa, *headloss* aliran pada pipa, *head* pada *node* dan tekanan pada *node*.

5.3.1. Analisis Simulasi Aliran

Simulasi jaringan secara keseluruhan menggambarkan hasil simulasi untuk keseluruhan jaringan perpipaan di wilayah Sondakan. Dari simulasi jaringan keseluruhan ini diperoleh gambaran secara umum untuk wilayah Sondakan berupa model aliran (arah dan besar aliran) untuk tiap jam simulasi, kondisi keseimbangan antara kapasitas *supply* dan besarnya *demand*, selain itu juga bisa diketahui besarnya kehilangan air atau kebocoran dalam sistem jaringan tersebut.

Gambar 5.3. adalah contoh model aliran air untuk seluruh wilayah Sondakan pada jam 06.00.



Gambar 5.2. Simulasi aliran air pada jam 06.00.

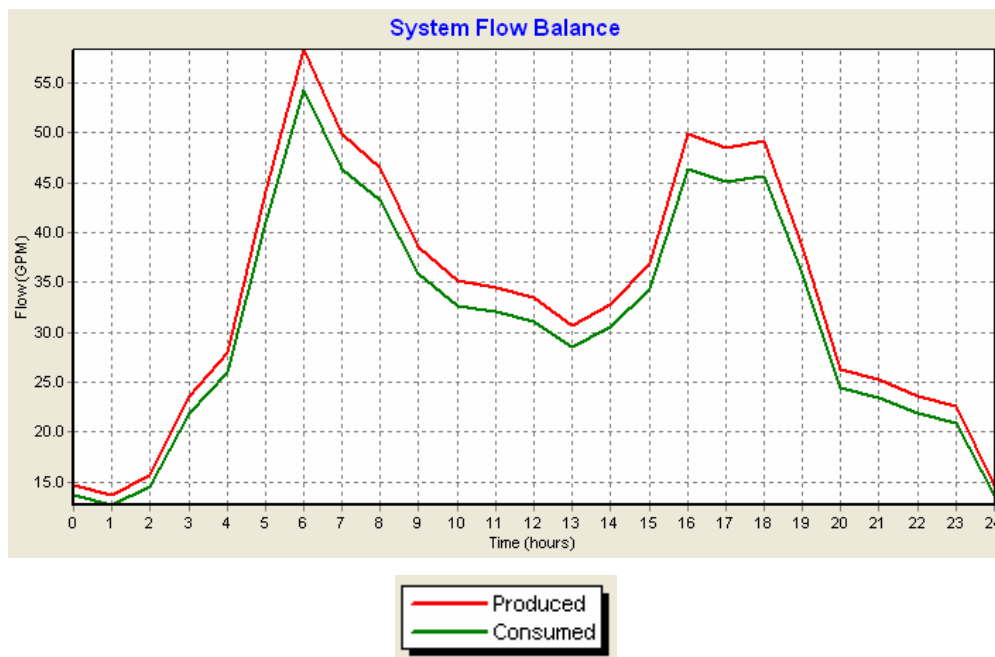
Dari gambar tersebut diketahui arah aliran pada masing-masing pipa yang ditunjukkan oleh arah anak panah pada masing-masing *link*. Variasi warna pada *link* menunjukkan besarnya aliran pada masing-masing pipa, yang mana semakin jauh suatu pipa dari pusat distribusi utama maka alirannya akan makin kecil. Hal ini disebabkan karena debit aliran tergantung pada kecepatan aliran, sedangkan kecepatan aliran tergantung pada besarnya *head* air yang dikirim dari *node* sebelumnya. Padahal setiap melewati suatu pipa pasti *head* dari air akan berkurang, sehingga pada akhir lokasi distribusi pasti akan diperoleh nilai *head*

terkecil. Pada jam 06.00 diketahui aliran air bervariasi antara 0 – 50 GPM, jam ini adalah jam-jam saat pemakaian padat.

Sedangkan pada *junctions*, variasi warna menunjukkan adanya variasi tekanan pada masing-masing *junction*. Besarnya tekanan pada *junction* juga dipengaruhi oleh *head* air yang dikirim dari sumber utama. Dalam hal ini *tank* sangat berpengaruh terhadap besarnya tekanan air. Pada saat jam *demand* kecil maka *tank* berfungsi untuk menampung air sementara, sekaligus meningkatkan tekanan air. Dan pada saat *demand* besar yang hingga melebihi kemampuan produksi maka *tank* akan berfungsi sebagai *supplier* yang akan mendistribusikan air sekaligus mendistribusikan tekanan sehingga air tetap dapat sampai pada titik terjauh dalam jaringan.

5.3.2. Analisis Keseimbangan Supply Demand

Simulasi ini juga bisa digunakan sebagai analisis keseimbangan antara kapasitas produksi dan jumlah *demand*. Gambar 5.4. menggambarkan kedua kondisi tersebut.



Gambar 5.3. Sistem Keseimbangan Supply dan Demand.

Terlihat pada gambar jumlah produksi yang melebihi jumlah konsumsi. Jumlah produksi adalah jumlah air yang dialirkan kedalam jaringan perpipaan melalui pipa distribusi utama. Nilai ini berasal dari pembacaan meter induk.

Sedangkan jumlah konsumsi adalah jumlah pemakaian air oleh pelanggan yang diperoleh dari rata-rata tagihan bulanan.

Dengan kondisi aliran produksi dan konsumsi seperti gambar diatas, berarti diketahui bahwa telah terjadi kebocoran air pada jaringan distribusi wilayah Sondakan, sebesar selisih antara nilai produksi dan nilai konsumsi. Besarnya kebocoran tersebut dapat dihitung dengan melihat karakteristik *tank* sebagai bak penampungan terakhir setelah selesai dijalankannya simulasi setelah akhir simulasi pada jam 24.00, karena air yang tertampung pada *tank* menggambarkan jumlah air yang keluar dari sistem jaringan namun bukan sebagai air konsumsi.

Dari karakteristik *tank* pada jam 24.00 diketahui bahwa telah terjadi kebocoran air dalam sistem jaringan distribusi dimana besar kebocoran selama satu hari adalah 460.2141 ft^3 (13031.81 liter) atau sebesar 7% dari total produksi. Nilai kebocoran ini sebenarnya masih dibawah nilai standar besar kebocoran yang diijinkan yaitu sebesar 15%, namun dalam rangka peningkatan pelayanan besar kebocoran ini perlu segera diatasi karena kehilangan air sebesar 13.031,81 liter perhari adalah bukan jumlah yang kecil.

5.3.3. Analisis Simulasi Step Area

Simulasi step area sebenarnya adalah simulasi lanjutan dari simulasi keseluruhan. Simulasi ini berfungsi untuk mengetahui lokasi-lokasi mana yang memiliki tingkat kebocoran tinggi. Namun simulasi ini hanyalah berupa usulan pada pihak PDAM Surakarta. Karena untuk menjalankan simulasi ini harus dilakukan penutupan katup pada beberapa jalur pipa.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Pada pemodelan aliran distribusi air di Wilayah Sondakan dengan *simultaneous loop equation method* diperoleh hasil berupa arah aliran dan besar

aliran pada masing-masing pipa distribusi. Dari hasil pemodelan tersebut diketahui kondisi aliran distribusi yang telah optimal, dimana asumsi arah aliran awal yang dibuat telah benar dengan besar nilai aliran yang cukup besar untuk bisa menjangkau semua titik yang tersebar diseluruh jaringan. Pada malam hari, yaitu pada jam 01.00 adalah kondisi dimana pemakaian air minimum, diperoleh hasil:

- Aliran pada tiap pipa berkisar antara 0.27 – 9.85 GPM. (Lihat lamp. 6).
- Kecepatan aliran pada tiap pipa berkisar antara 0.01 – 0.12 feet perdetik. (Lihat lamp. 6).
- *Headloss* aliran per 1000 feet pada tiap pipa berkisar antara 0.00 – 0.03 feet. (Lihat lamp. 6).
- *Head* air (energi persatuan berat air) pada setiap *junctions* berkisar antara 23.14 – 23.16 feet. (Lihat lamp. 7).
- Tekanan air pada setiap *junctions* berkisar antara 3.53 – 3.54 psi. (Lihat lamp. 7).
- Faktor friksi pada tiap pipa berkisar antara 0.032 – 0.083. (Lihat lamp. 6).

Pada pagi hari, yaitu pada jam 06.00 adalah kondisi dimana pemakaian air maksimum, diperoleh hasil:

- Aliran pada tiap pipa berkisar antara 1.14 – 42.11 GPM. (Lihat lamp. 6).
- Kecepatan aliran pada tiap pipa berkisar antara 0.03 – 0.57 feet perdetik. (Lihat lamp. 6).
- *Headloss* aliran per 1000 feet pada tiap pipa berkisar antara 0.00 – 0.41 feet. (Lihat lamp. 6).
- *Head* air (energi persatuan berat air) pada setiap *junctions* berkisar antara 32.71 – 33.04 feet. (Lihat lamp. 7).
- Tekanan air pada setiap *junctions* berkisar antara 7.67 – 7.82 psi. (Lihat lamp. 7).
- Faktor friksi pada tiap pipa berkisar antara 0.026 – 0.067. (Lihat lamp. 6).

Pada keseimbangan antara *supply* dan *demand* diperoleh hasil bahwa besarnya *supply* telah dapat mencukupi kebutuhan *demand* yang ada. Bahkan juga pada saat-saat pemakaian padat (pemakaian air mencapai maksimum sekitar pada jam 06.00).

Yang perlu menjadi perhatian adalah adanya indikasi kebocoran air. Hal ini diketahui dengan adanya perbedaan jumlah pemakaian air yang diukur dari perbandingan antara pengukuran meter induk dan jumlah total konsumsi oleh pelanggan. Sedangkan pada hasil simulasi diketahui dari total air yang tertampung dalam *tank* pada akhir simulasi. Kebocoran air yang terjadi pada jaringan distribusi Kelurahan Sondakan tiap hari adalah sebesar 13.031,81 liter atau 7 % dari keseluruhan air yang didistribusikan di wilayah ini.

6.2 SARAN

Hasil penelitian ini merupakan langkah awal yang diperlukan dalam perancangan sistem jaringan distribusi, khususnya untuk jaringan distribusi air. Masih diperlukan penelitian – penelitian selanjutnya sehingga diperoleh suatu rancangan sistem jaringan distribusi yang sesuai untuk Wilayah Sondakan. Beberapa hal berikut ini sebagai masukan kepada pihak PDAM Surakarta ataupun pihak-pihak lain yang berkepentingan dibidang ini:

1. Perlu segera dilakukan penanganan pengendalian kebocoran air di Wilayah Sondakan mengingat tingkat kebocoran air yang cukup besar. Bila kebocoran ini bisa diatasi maka ini akan menjadi *saving* yang besar bagi pihak PDAM Surakarta.
2. Sebelum dibuat suatu sistem jaringan distribusi sebaiknya perancangan dilakukan se jelas mungkin, mengingat perbaikan ulang suatu jaringan membutuhkan sumberdaya yang besar.
3. Perlu dilakukan pendataan ulang yang jelas dan lengkap berkenaan dengan sistem jaringan distribusi, sebagai sumber informasi bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexandrou, Andreas N. *Kunci Penyelesaian Soal-soal Mekanika Fluida Streeter-Wylie*. Erlangga. Jakarta. 1992.
- Batchelor, G.K. F.R.S. *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press. Great Britain. 1967.
- Dake, Jonas M.K. *Hidrolika Teknik*. Erlangga. Jakarta. 1985.

- Dugdale, R.H. *Mekanika Fluida*. Erlangga. Jakarta. 1986.
- Giles, Ronald V. *Mekanika Fluida dan Hidrolika*. Erlangga. Jakarta. 1986.
- Godreche, Claude and Paul Manneville. *Hidrodinamics and Nonlinier Instabilities*. Cambridge University Press. United Kingdom. 1998.
- Hughes, W.H and J.A. Brighton. *Theory and Problems at Fluid Dinamics*. McGraw-Hill Book Company. United State of America. 1966.
- Makrup, Lalu. *Dasar-dasar Analisis Aliran di Sungai dan Muara*. UII-Press Yogyakarta. Yogyakarta. 2001.
- Olson, Reuben M. and Steven J. Wright. *Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 1993.
- Pratikto, W.A. *Hidrodinamika Dasar*. BPPE-Yogyakarta. Yogyakarta. 1985
- Streeter, Victor L. and E Benjamin Wylie. *Mekanika Fluida Jilid I*. Erlangga. Jakarta. 1993.
- _____. *Mekanika Fluida Jilid II*. Erlangga. Jakarta. 1991.
- Streeter, Victor L. Et all. *Solutions Mannual to Company Fluid Dinamics*. McGraw-Hill Book Company. United State of America. 1998
- White, Frank M. *Mekanika Fluida Jilid I*. Erlangga. Jakarta. 1988
- _____. *Mekanika Fluida Jilid II*. Erlangga. Jakarta. 1991

<http://www.pdamsolo.or.id/>.

www.epa.gov/nrmrl/wswrd/EN2manual.PDF

www.mwhsoft.com/page/p_bookstore/cwbsa/Chap5.pdf

Lampiran 1

Pengambilan air pada pipa sekunder dan tersier oleh pelanggan

Pipa	m ³ /bln	g/bln	g/m
Pipa 1	0.00	0.00	0.00
Pipa 2	451.29	119219.76	2.76
Pipa 3	8.71	2302.12	0.05
Pipa 4	248.29	65591.62	1.52
Pipa 5	0.00	0.00	0.00
Pipa 6	62.71	16567.73	0.38
Pipa 7	306.24	80901.37	1.87
Pipa 8	173.71	45891.49	1.06
Pipa 9	193.29	51061.83	1.18

m³/bln : Meter kubik perbulan

g/bln : Galon perbulan

g/m : Galon permenit

Pipa 10	97.71	25813.96	0.60
Pipa 11	0.00	0.00	0.00
Pipa 12	247.71	65440.66	1.51
Pipa 13	0.00	0.00	0.00
Pipa 14	288.57	76234.22	1.76
Pipa 15	0.00	0.00	0.00
Pipa 16	109.29	28870.88	0.67
Pipa 17	35.00	9246.23	0.21
Pipa 18	0.00	0.00	0.00
Pipa 19	403.14	106501.47	2.47
Pipa 20	183.86	48571.01	1.12
Pipa 21	0.00	0.00	0.00
Pipa 22	27.86	7359.24	0.17
Pipa 23	0.00	0.00	0.00
Pipa 24	124.43	32871.29	0.76
Pipa 25	0.00	0.00	0.00
Pipa 26	84.14	22228.69	0.51
Pipa 27	100.86	26644.24	0.62
Pipa 28	20.57	5434.52	0.13
Pipa 29	90.86	24002.46	0.56
Pipa 30	238.14	62912.10	1.46
Pipa 31	79.57	21021.02	0.49
Pipa 32	0.00	0.00	0.00
Pipa 33	55.86	14756.23	0.34
Pipa 34	81.71	21587.12	0.50
Pipa 35	38.43	10151.98	0.23
Pipa 36	368.86	97443.94	2.26
Pipa 37	253.57	66987.99	1.55
Pipa 38	95.57	25247.87	0.58
Pipa 39	42.71	11284.17	0.26
Pipa 40	301.57	79668.54	1.84
Pipa 41	0.00	0.00	0.00
Pipa 42	15.29	4038.15	0.09
Pipa 43	29.86	7887.60	0.18
Pipa 44	113.86	30078.55	0.70
Pipa 45	221.71	58572.04	1.36
Jumlah	2837.38	749573.63	17.35

Lampiran 2

Pengambilan air pada node dari pipa-pipa sekunder dan tersier

Pipa	Demand (g/m)
Node 1	0
Node 2	0
Node 3	0
Node 4	0
Node 5	0
Node 6	0.51
Node 7	1.2
Node 8	0.23
Node 9	1.18
Node 10	1.65
Node 11	1.98
Node 12	0.76
Node 13	1.8
Node 14	1.84
Node 15	1.45
Node 16	1.73
Node 17	4.33
Node 20	0.38
Node 21	1.87
Node 22	1.51
Node 23	0.67
Node 24	0.17
Node 25	0
Node 26	0.61
Node 27	0.56
Node 28	0.58
Node 31	0.62
Node 32	2.52
Node 33	0
Node 34	3.59
Jumlah	31.74

Lampiran 3

Data panjang pipa, diameter pipa dan nilai kekasaran pipa

Pipa	L (ft)	D (ft)	Nilai C
Pipa 1	168.64	0.4921	140
Pipa 2	926.75	0.4921	140
Pipa 5	215.86	0.4921	140
Pipa 6	535.26	0.4921	140
Pipa 7	258.21	0.4921	140
Pipa 8	988.01	0.4921	140
Pipa 9	503.27	0.4921	140
Pipa 10	193.45	0.4921	140
Pipa 11	299.26	0.4921	140
Pipa 12	532.57	0.4921	140
Pipa 13	275.08	0.4921	140
Pipa 14	693.34	0.4921	140
Pipa 15	361.01	0.4921	140
Pipa 16	384.14	0.4921	140
Pipa 17	460.59	0.4921	140
Pipa 18	372.03	0.4921	140
Pipa 19	1554.31	0.4921	140
Pipa 20	413.80	0.4921	140
Pipa 21	23.72	0.4921	140
Pipa 22	495.43	0.4921	140
Pipa 23	258.54	0.4921	140
Pipa 24	816.18	0.4921	140
Pipa 25	13.91	0.4921	140
Pipa 26	469.54	0.4921	140
Pipa 27	435.42	0.4921	140
Pipa 28	253.00	0.4921	140
Pipa 29	218.02	0.4921	140
Pipa 30	828.58	0.4921	140
Pipa 31	411.83	0.4921	140
Pipa 32	384.93	0.4921	140
Pipa 33	303.66	0.4921	140
Pipa 34	537.07	0.4921	140
Pipa 35	438.05	0.4921	140
Pipa 36	703.94	0.4921	140
Pipa 37	1308.53	0.4921	140
Pipa 38	356.12	0.4921	100
Pipa 39	501.60	0.4921	100

Pipa 40	1311.84	0.4921	140
Pipa 41	196.50	0.4921	140
Pipa 42	384.30	0.4921	140
Pipa 43	172.94	0.4921	140

Lampiran 4

Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
12:00	2,07	0,22
12:05	2,09	0,22
12:10	2,10	0,22
12:15	2,14	0,22
12:20	2,11	0,22
12:25	2,05	0,22
12:30	2,23	0,22
12:35	2,26	0,22
12:40	2,14	0,22
12:45	2,09	0,22
12:50	2,06	0,22
12:55	1,91	0,22
13:00	1,98	0,22
13:05	2,11	0,22
13:10	1,89	0,22
13:15	1,82	0,22
13:20	2,17	0,22
13:25	2,17	0,22
13:30	2,16	0,22
13:35	2,00	0,22
13:40	1,98	0,22
13:45	2,03	0,22
13:50	2,03	0,22
13:55	2,03	0,22
14:00	2,08	0,22
14:05	2,10	0,22
14:10	2,12	0,22
14:15	2,26	0,22
14:20	2,25	0,22
14:25	2,09	0,22
14:30	2,04	0,22
14:35	2,04	0,22
14:40	2,35	0,22
14:45	2,34	0,22
14:50	2,37	0,22
14:55	2,52	0,20
15:00	2,46	0,20
15:05	2,47	0,20
15:10	2,51	0,20
15:15	2,64	0,20
15:20	2,83	0,20
15:25	3,02	0,19

15:30	2,91	0,18
15:35	2,75	0,18
15:40	2,74	0,18

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
15:45	2,96	0,18
15:50	3,15	0,18
15:55	3,20	0,18
16:00	3,12	0,18
16:05	3,00	0,18
16:10	2,99	0,18
16:15	3,15	0,17
16:20	3,32	0,16
16:25	3,64	0,16
16:30	3,77	0,16
16:35	3,66	0,16
16:40	3,68	0,16
16:45	3,25	0,16
16:50	2,78	0,16
16:55	2,81	0,16
17:00	2,84	0,16
17:05	2,95	0,16
17:10	3,11	0,16
17:15	3,31	0,16
17:20	3,49	0,16
17:25	3,53	0,16
17:30	3,50	0,16
17:35	3,41	0,16
17:40	3,37	0,16
17:45	3,49	0,16
17:50	3,42	0,16
17:55	3,38	0,16
18:00	3,53	0,16
18:05	3,53	0,16
18:10	3,32	0,16
18:15	3,22	0,16
18:20	3,21	0,16
18:25	3,27	0,16
18:30	2,99	0,17
18:35	2,80	0,18
18:40	2,71	0,18
18:45	2,63	0,18
18:50	2,64	0,18
18:55	2,48	0,18
19:00	2,39	0,19
19:05	2,33	0,19
19:10	2,15	0,19
19:15	2,20	0,19
19:20	2,27	0,19
19:25	2,22	0,20

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
19:30	2,13	0,21
19:35	2,03	0,21
19:40	2,01	0,21
19:45	1,99	0,21
19:50	1,89	0,21
19:55	1,81	0,21
20:00	1,68	0,21
20:05	1,67	0,21
20:10	1,66	0,21
20:15	1,69	0,21
20:20	1,74	0,22
20:25	1,83	0,22
20:30	1,93	0,22
20:35	1,84	0,22
20:40	1,81	0,22
20:45	1,94	0,22
20:50	1,95	0,22
20:55	1,93	0,22
21:00	2,01	0,22
21:05	2,10	0,22
21:10	2,17	0,22
21:15	2,08	0,22
21:20	1,91	0,22
21:25	1,90	0,22
21:30	1,90	0,22
21:35	1,89	0,23
21:40	1,87	0,24
21:45	1,77	0,24
21:50	1,75	0,24
21:55	1,71	0,24
22:00	1,81	0,25
22:05	2,04	0,25
22:10	2,01	0,25
22:15	1,99	0,25
22:20	1,94	0,25
22:25	1,91	0,25
22:30	1,82	0,26
22:35	1,88	0,27
22:40	1,97	0,27
22:45	1,85	0,27
22:50	1,81	0,27
22:55	1,85	0,27
23:00	1,85	0,27
23:05	1,78	0,28
23:10	1,74	0,29

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
23:15	1,59	0,29
23:20	1,59	0,29
23:25	1,58	0,29
23:30	1,58	0,29
23:35	0,85	0,30
23:40	0,85	0,30
23:45	0,85	0,30
23:50	0,85	0,31
23:55	0,82	0,32
0:00	0,82	0,32
0:05	0,82	0,32
0:10	0,82	0,32
0:15	0,79	0,32
0:20	0,79	0,32
0:25	0,79	0,32
0:30	0,79	0,32
0:35	0,78	0,32
0:40	0,78	0,32
0:45	0,78	0,32
0:50	0,78	0,32
0:55	0,80	0,33
1:00	0,81	0,34
1:05	0,81	0,34
1:10	0,81	0,34
1:15	0,84	0,34
1:20	0,87	0,34
1:25	0,87	0,34
1:30	0,87	0,34
1:35	0,84	0,34
1:40	0,81	0,34
1:45	0,81	0,34
1:50	0,81	0,34
1:55	0,86	0,34
2:00	0,92	0,34
2:05	0,92	0,34
2:10	0,92	0,34
2:15	1,53	0,34
2:20	1,64	0,34
2:25	1,69	0,34
2:30	1,69	0,34
2:35	1,74	0,34
2:40	1,74	0,34
2:45	1,68	0,34
2:50	1,67	0,34
2:55	1,69	0,34

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
3:00	1,69	0,32
3:05	1,78	0,32
3:10	1,87	0,32
3:15	1,76	0,32
3:20	1,79	0,32
3:25	1,90	0,32
3:30	1,95	0,31
3:35	2,00	0,31
3:40	1,91	0,31
3:45	1,88	0,31
3:50	1,93	0,29
3:55	1,93	0,29
4:00	1,93	0,29
4:05	1,91	0,29
4:10	1,88	0,29
4:15	2,29	0,27
4:20	2,43	0,26
4:25	2,48	0,24
4:30	2,43	0,24
4:35	2,68	0,24
4:40	2,62	0,22
4:45	2,46	0,22
4:50	2,66	0,22
4:55	2,76	0,22
5:00	3,07	0,20
5:05	3,28	0,19
5:10	3,32	0,19
5:15	3,44	0,19
5:20	3,62	0,17
5:25	3,96	0,15
5:30	4,06	0,15
5:35	3,83	0,15
5:40	3,95	0,15
5:45	4,02	0,15
5:50	3,84	0,15
5:55	3,78	0,15
6:00	3,77	0,15
6:05	3,69	0,15
6:10	3,52	0,15
6:15	3,50	0,15
6:20	3,66	0,15
6:25	3,62	0,15
6:30	3,66	0,15
6:35	3,67	0,15
6:40	3,52	0,15

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
6:45	3,33	0,16
6:50	3,35	0,16
6:55	3,41	0,16
7:00	3,42	0,16
7:05	3,30	0,16
7:10	3,21	0,16
7:15	3,18	0,16
7:20	3,33	0,16
7:25	3,39	0,16
7:30	3,22	0,16
7:35	3,17	0,16
7:40	2,99	0,16
7:45	3,02	0,16
7:50	3,20	0,16
7:55	3,23	0,16
8:00	3,18	0,16
8:05	3,09	0,16
8:10	3,00	0,17
8:15	3,12	0,18
8:20	3,01	0,18
8:25	2,91	0,18
8:30	2,75	0,18
8:35	2,77	0,18
8:40	2,78	0,18
8:45	2,73	0,18
8:50	2,69	0,18
8:55	2,58	0,18
9:00	2,31	0,18
9:05	2,21	0,19
9:10	2,25	0,19
9:15	2,18	0,19
9:20	2,18	0,19
9:25	2,38	0,18
9:30	2,25	0,19
9:35	2,19	0,19
9:40	2,16	0,19
9:45	2,12	0,19
9:50	2,10	0,19
9:55	2,09	0,19
10:00	2,19	0,19
10:05	2,29	0,19
10:10	2,52	0,19
10:15	2,75	0,19
10:20	2,60	0,19
10:25	2,44	0,19

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
10:30	2,58	0,20
10:35	2,47	0,21
10:40	2,46	0,21
10:45	2,47	0,21
10:50	2,53	0,21
10:55	2,18	0,21
11:00	2,14	0,21
11:05	2,20	0,21
11:10	2,15	0,21
11:15	2,10	0,21
11:20	1,94	0,22
11:25	2,15	0,22
11:30	2,39	0,22
11:35	2,59	0,22
11:40	2,38	0,22
11:45	2,28	0,23
11:50	2,16	0,24
11:55	2,02	0,24
12:00	1,99	0,24
12:05	1,98	0,24
12:10	2,05	0,24
12:15	2,13	0,24
12:20	2,06	0,24
12:25	2,04	0,24
12:30	1,99	0,24
12:35	1,82	0,24
12:40	1,71	0,24
12:45	1,73	0,24
12:50	1,74	0,24
12:55	1,90	0,24
13:00	1,93	0,24
13:05	1,76	0,24
13:10	1,76	0,24
13:15	1,74	0,24
13:20	1,73	0,25
13:25	1,72	0,25
13:30	1,78	0,25
13:35	1,92	0,25
13:40	1,96	0,25
13:45	1,98	0,25
13:50	2,11	0,24
13:55	2,21	0,24
14:00	2,39	0,24
14:05	2,37	0,24
14:10	2,15	0,24

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
14:15	1,97	0,24
14:20	1,83	0,24
14:25	1,81	0,24
14:30	1,81	0,24
14:35	1,81	0,24
14:40	1,83	0,24
14:45	1,95	0,24
14:50	2,16	0,24
14:55	2,26	0,22
15:00	2,26	0,22
15:05	2,22	0,22
15:10	2,46	0,22
15:15	2,46	0,22
15:20	2,44	0,21
15:25	2,49	0,21
15:30	3,14	0,21
15:35	3,52	0,19
15:40	2,85	0,19
15:45	2,88	0,19
15:50	3,00	0,19
15:55	3,19	0,19
16:00	3,26	0,19
16:05	3,11	0,19
16:10	3,14	0,19
16:15	3,49	0,19
16:20	3,69	0,18
16:25	3,19	0,18
16:30	2,81	0,18
16:35	2,80	0,19
16:40	2,82	0,19
16:45	2,66	0,19
16:50	2,73	0,19
16:55	2,83	0,19
17:00	3,02	0,18
17:05	3,17	0,18
17:10	2,94	0,19
17:15	2,80	0,19
17:20	2,86	0,19
17:25	2,83	0,19
17:30	2,79	0,19
17:35	2,77	0,19
17:40	2,79	0,19
17:45	2,85	0,19
17:50	2,86	0,19
17:55	3,01	0,19

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
18:00	3,08	0,19
18:05	2,96	0,19
18:10	2,94	0,19
18:15	2,81	0,19
18:20	2,62	0,20
18:25	2,47	0,21
18:30	2,61	0,21
18:35	2,70	0,21
18:40	2,64	0,22
18:45	2,51	0,22
18:50	2,70	0,22
18:55	2,51	0,22
19:00	2,40	0,23
19:05	2,30	0,24
19:10	2,09	0,24
19:15	2,09	0,24
19:20	2,09	0,24
19:25	1,96	0,24
19:30	1,94	0,25
19:35	1,93	0,25
19:40	1,79	0,25
19:45	1,61	0,25
19:50	1,59	0,25
19:55	1,57	0,26
20:00	1,50	0,27
20:05	1,31	0,27
20:10	1,31	0,27
20:15	1,17	0,27
20:20	1,11	0,27
20:25	1,11	0,27
20:30	1,20	0,27
20:35	1,24	0,27
20:40	1,23	0,27
20:45	1,17	0,25
20:50	1,17	0,25
20:55	1,18	0,25
21:00	1,19	0,25
21:05	1,19	0,25
21:10	1,27	0,25
21:15	1,39	0,25
21:20	1,37	0,25
21:25	0,94	0,25
21:30	0,94	0,25
21:35	0,94	0,25
21:40	1,04	0,25

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
21:45	1,14	0,25
21:50	1,14	0,25
21:55	1,14	0,25
22:00	1,15	0,25
22:05	1,15	0,25
22:10	1,14	0,26
22:15	1,13	0,27
22:20	1,13	0,27
22:25	1,03	0,27
22:30	1,00	0,27
22:35	1,00	0,27
22:40	1,03	0,27
22:45	1,06	0,27
22:50	1,06	0,27
22:55	1,05	0,27
23:00	1,03	0,28
23:05	1,03	0,28
23:10	1,04	0,28
23:15	1,09	0,28
23:20	1,09	0,28
23:25	1,08	0,29
23:30	1,03	0,30
23:35	1,03	0,30
23:40	1,03	0,30
23:45	1,06	0,30
23:50	1,07	0,31
23:55	1,07	0,31
0:00	0,91	0,32
0:05	0,85	0,32
0:10	0,85	0,32
0:15	0,85	0,32
0:20	0,92	0,32
0:25	0,94	0,32
0:30	0,94	0,32
0:35	0,93	0,32
0:40	0,92	0,32
0:45	0,92	0,32
0:50	0,92	0,32
0:55	0,91	0,32
1:00	0,91	0,33
1:05	0,91	0,34
1:10	0,91	0,34
1:15	0,90	0,34
1:20	0,90	0,34
1:25	0,90	0,34

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
1:30	0,90	0,34
1:35	0,89	0,34
1:40	0,89	0,34
1:45	0,89	0,34
1:50	0,90	0,34
1:55	0,91	0,34
2:00	0,91	0,34
2:05	0,91	0,34
2:10	0,99	0,34
2:15	0,99	0,34
2:20	0,99	0,34
2:25	1,05	0,34
2:30	1,09	0,34
2:35	1,09	0,34
2:40	1,11	0,34
2:45	1,12	0,34
2:50	1,12	0,34
2:55	1,22	0,34
3:00	1,29	0,34
3:05	1,29	0,34
3:10	1,28	0,34
3:15	1,28	0,34
3:20	1,32	0,34
3:25	1,38	0,34
3:30	1,37	0,32
3:35	1,31	0,32
3:40	1,31	0,32
3:45	1,37	0,32
3:50	1,43	0,31
3:55	1,43	0,31
4:00	1,42	0,31
4:05	1,42	0,31
4:10	1,54	0,29
4:15	1,57	0,27
4:20	1,82	0,27
4:25	1,92	0,26
4:30	1,84	0,26
4:35	1,81	0,24
4:40	1,69	0,24
4:45	1,73	0,23
4:50	1,88	0,23
4:55	2,17	0,21
5:00	2,58	0,21
5:05	2,83	0,20
5:10	3,22	0,18

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
5:15	3,15	0,18
5:20	3,55	0,18
5:25	3,82	0,16
5:30	3,93	0,16
5:35	4,09	0,14
5:40	4,05	0,14
5:45	3,99	0,14
5:50	3,98	0,14
5:55	3,65	0,15
6:00	3,55	0,16
6:05	3,47	0,16
6:10	3,34	0,16
6:15	3,13	0,16
6:20	3,04	0,16
6:25	3,01	0,16
6:30	2,73	0,17
6:35	2,71	0,17
6:40	2,90	0,17
6:45	3,06	0,17
6:50	3,22	0,17
6:55	3,30	0,17
7:00	3,17	0,17
7:05	2,99	0,17
7:10	2,77	0,17
7:15	2,44	0,17
7:20	2,58	0,17
7:25	2,66	0,17
7:30	2,67	0,17
7:35	2,61	0,19
7:40	2,76	0,19
7:45	2,55	0,19
7:50	2,57	0,19
7:55	2,71	0,19
8:00	2,99	0,19
8:05	3,15	0,19
8:10	2,71	0,19
8:15	2,69	0,19
8:20	2,83	0,19
8:25	3,06	0,19
8:30	3,04	0,19
8:35	2,77	0,19
8:40	2,62	0,19
8:45	2,36	0,19
8:50	2,37	0,19
8:55	2,32	0,19

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 4

Lanjutan : Data pengukuran meter induk pipa distribusi utama

Jam	Aliran (Liter/second)	Tekanan (Bar)
9:00	2,03	0,19
9:05	2,04	0,20
9:10	2,04	0,20
9:15	2,41	0,20
9:20	2,31	0,20
9:25	2,21	0,20
9:30	2,20	0,20
9:35	2,28	0,20
9:40	2,34	0,20
9:45	2,25	0,20
9:50	2,24	0,20
9:55	2,19	0,20
10:00	1,97	0,20
10:05	1,88	0,20
10:10	1,99	0,20
10:15	1,97	0,20
10:20	2,08	0,20
10:25	1,99	0,20
10:30	1,94	0,20
10:35	1,83	0,21
10:40	2,02	0,20
10:45	2,19	0,20
10:50	1,92	0,20
10:55	1,93	0,20
11:00	1,95	0,20
11:05	2,22	0,20
11:10	2,37	0,20
11:15	2,19	0,20
11:20	2,18	0,21
11:25	2,14	0,22
11:30	2,00	0,22
11:35	2,06	0,22
11:40	2,13	0,20
11:45	2,01	0,20
11:50	1,91	0,20
11:55	1,67	0,21

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 5

Data tagihan pemakaian air oleh pelanggan

No	Kas	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli
1	1620	25	0	0	0	0	0	0
2	4002	0	0	0	0	0	0	0
3	4003	0	0	0	0	0	0	0
4	4005	2	0	0	1	0	0	0
5	4008	15	25	17	25	11	9	8
6	4009	0	0	0	0	0	0	0
7	4010	2	1	1	0	1	2	2
8	4011	4	4	2	10	0	3	4
9	4021	31	30	30	11	35	18	15
10	4024	12	10	10	10	10	10	10
11	4025	20	18	16	20	25	10	20
12	4026	9	15	12	10	10	10	10
13	4027	200	203	278	265	268	306	285
14	4029	5	7	12	10	14	12	13
15	4101	11	10	17	17	19	41	12
16	4108	3	4	3	2	2	3	2
17	4109	2	7	2	3	2	10	8
18	4111	35	34	51	40	40	40	40
19	4112	29	32	27	30	39	33	34
20	4113	53	55	40	50	59	57	55
21	4114	27	30	22	31	29	29	30
22	4115	30	28	29	36	31	31	27
23	4117	20	11	20	20	3	21	0
24	4118	0	0	0	0	0	0	0
25	4123	0	2	10	10	6	6	0
26	4127	0	0	0	0	0	0	0
27	4128	20	13	15	13	16	15	15
28	4130	24	27	23	44	14	25	30
29	4131	52	56	44	54	49	56	57
30	4132	6	9	5	31	5	7	9
31	4133	1	1	5	17	10	6	0
32	4134	5	4	3	15	6	10	3
33	4137	7	8	5	7	5	6	7
34	4138	0	2	0	1	0	1	2
35	4140	25	29	27	28	32	29	29
36	4143	0	0	0	0	0	0	0
37	4145	0	0	0	0	6	0	1
38	4154	9	5	7	8	10	6	8
39	4155	15	25	14	20	20	23	23
40	4157	0	0	0	0	0	0	0
41	4158	8	10	8	18	8	8	6
42	4159	0	0	44	0	0	23	0
43	4161	29	35	26	30	26	23	18
44	4168	84	106	90	110	94	114	69
45	4169	33	29	19	40	26	19	40

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 5

Lanjutan : Data tagihan pemakaian air oleh pelanggan

No	Kas	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli
46	4170	273	71	49	56	54	78	65
47	4171	12	22	13	20	17	17	18
48	4172	10	10	64	12	4	9	10
49	4173	7	18	6	10	2	3	3
50	4174	10	9	0	2	0	0	0
51	4175	17	16	15	14	15	15	13
52	4176	15	15	5	3	2	0	1
53	4177	14	16	89	50	37	38	35
54	4178	22	26	9	0	0	0	1
55	4179	30	22	21	31	37	33	35
56	4180	10	11	10	10	10	10	10
57	4181	37	32	42	43	39	40	37
58	4184	3	3	4	10	3	2	24
59	4191	0	103	19	11	7	36	37
60	4193	28	34	29	34	37	35	34
61	4195	8	8	7	0	8	8	8
62	4196	0	10	10	10	10	9	10
63	4197	10	13	10	21	21	38	24
64	4200	25	27	26	30	28	31	27
65	4204							
66	4205	0	1	10	4	3	2	2
67	4215	17	21	15	18	16	16	17
68	4216	33	32	30	40	37	50	40
69	4866	10	10	10	10	10	15	15
70	4869	26	30	29	34	34	21	19
71	4870	9	13	10	8	13	1	15
72	4874	57	63	57	58	64	72	60
73	4875	5	6	4	5	5	4	5
74	4876	42	40	33	37	37	31	41
75	4877	41	42	40	47	41	45	41
76	5850	12	10	12	12	11	13	13
77	5883	75	60	60	60	60	60	65
78	5912	8	16	15	106	40	40	5
79	5940	8	11	8	11	9	11	9
80	5960	6	6	6	7	7	8	7
81	6031	11	16	14	13	14	133	13
82	6078	34	35	35	42	42	41	36
83	6221	5	4	4	5	3	5	3
84	6222	6	6	10	2	9	1	2
85	6254	0	0	0	0	10	0	0
86	6313	44	45	37	35	37	48	47
87	6314	28	28	43	30	46	39	38
88	6327	45	46	42	46	47	50	30
89	6377	0	1	0	0	0	0	0
90	6430	38	23	25	25	3	22	23

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 5

Lanjutan : Data tagihan pemakaian air oleh pelanggan

No	Kas	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli
91	6434	8	10	7	7	8	8	7
92	6456	25	25	14	10	30	20	33
93	6460	146	175	67	101	90	93	94
94	6523	25	25	25	25	25	25	30
95	6529	45	41	46	41	41	41	41
96	6561	34	40	35	43	39	35	32
97	6578	7	19	15	21	23	25	25
98	6580	7	7	7	9	4	3	8
99	6581	4	6	4	4	4	4	3
100	6667	9	11	8	8	8	9	8
101	6690	44	43	26	35	12	17	18
102	6725	15	14	11	_1 7	36	32	30
103	6738	24	35	31	32	36	38	39
104	6768	29	21	19	14	27	20	22
105	6776	12	14	10	12	10	12	12
106	6783	10	10	9	10	9	10	9
107	6792	20	24	16	23	21	21	24
108	6812	17	18	17	18	24	20	21
109	6841	6	5	6	9	15	9	5
110	6983	3	2	3	5	24	11	22
111	6986	33	38	38	40	37	33	34
112	7002	70	87	75	65	52	59	56
113	7003	0	0	0	0	0	0	0
114	7004	32	30	30	35	35	31	31
115	7005	2	2	2	2	5	6	4
116	7016	49	54	37	49	45	47	47
117	7050	35	35	35	35	35	41	35
118	7051	6	6	6	6	6	5	5
119	7052	35	35	35	0	0	0	0
120	7054							
121	7055							
122	7056	71	30	39	41	41	33	45
123	7210	20	15	10	46	30	19	23
124	7229	18	23	54	60	67	94	22
125	7230	79	78	74	84	76	84	82
126	7231	14	14	15	16	14	16	18
127	7250	111	72	63	91	67	77	66
128	7265	6	5	5	6	11	4	4
129	7319	46	53	42	45	30	34	40
130	7422	62	42	39	47	43	47	42
131	7450	0	0	1	0	0	0	0
132	7468	36	41	32	37	36	32	46
133	7568	65	65	65	65	70	70	70
134	7581	53	42	33	39	36	39	43
135	7587	27	32	28	33	30	29	30

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 5

Lanjutan : Data tagihan pemakaian air oleh pelanggan

No	Kas	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli
136	7589	49	52	53	75	61	59	47
137	7597	50	53	50	72	28	50	41
138	7599	55	66	58	60	61	37	35
139	7617	8	10	6	16	10	8	10
140	7658	23	28	29	29	30	25	20
141	7690	47	55	40	48	45	40	65
142	7707	11	8	17	23	41	20	9
143	7709	0	1	2	7	0	2	10
144	7738	7	0	0	0	0	0	5
145	7744	19	27	39	38	37	36	35
146	7873	20	22	20	19	20	20	4
147	7898	66	61	49	60	44	55	52
148	7900	24	29	21	24	23	21	24
149	7914	0	0	0	0	0	0	0
150	7917	23	30	33	40	41	40	21
151	7926	25	19	17	25	22	24	24
152	7965	6	5	6	9	7	5	5
153	17696	48	42	50	48	38	27	25
154	19731	25	20	16	17	26	26	28
155	19745	13	10	9	10	12	14	15
156	19746	-26	25	23	23	22	20	18
157	19924	43	52	40	46	52	49	40
158	19952	58	80	46	65	107	115	70
159	23155	26	4	77	57	34	38	30
160	23555	41	26	63	78	81	71	10
161	23769	29	33	37	42	30	36	34
162	23958	55	27	48	41	58	48	50
163	23967	30	40	41	50	48	42	32
164	27139	5	25	25	41	34	34	26
165	27238	9	36	35	40	34	24	13
166	27259	13	18	12	10	11	28	30
167	27414	30	37	28	40	39	44	55
168	27416	37	39	38	45	43	43	39
169	27422	27	32	24	28	17	28	36
170	27427	16	38	45	14	10	45	27
171	27727	14	12	14	16	17	20	14
172	28834	12	14	17	15	20	18	20
173	29158	27	31	24	31	34	36	32
174	29563	21	20	24	26	27	23	27
175	29935	1	0	0	0	0	0	0
176	30285	18	25	17	16	19	22	19
177	30287	10	10	10	10	10	15	15
178	30288	33	54	39	45	42	41	52
179	30289							
180	30290							

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 5

Lanjutan : Data tagihan pemakaian air oleh pelanggan

No	Kas	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli
181	30437	30	31	22	26	25	25	31
182	30822	16	33	34	38	30	2	30
183	31330	5	7	5	6	5	6	7
184	31723	10	10	10	10	10	10	10
185	31927	29	50	41	53	51	50	59
186	32183	10	10	10	10	100	10	10
187	33578	30	35	27	31	32	35	33
188	34855	1	25	8	10	9	10	10
189	35028	46	45	49	48	49	55	55
190	35662	16	18	16	18	15	18	13
191	37205	57	81	52	45	1	2	1
192	38104	2	2	1	40	4	1	1
193	38222	20	22	20	20	20	20	20
194	38878	29	22	21	28	27	31	30
195	38936	18	13	16	19	27	26	18
196	38937	8	9	5	15	10	10	10
197	39372	16	26	11	10	6	2	2
198	40519	71	66	65	79	67	71	62
199	40520	11	31	7	7	15	10	9
200	40568	31	22	26	29	29	31	29
201	40990	0	0	0	1	0	0	0
202	4202	27	27	30	28	30	30	29
203	41263	8	9	7	10	10	14	12
204	41289	51	47	39	27	41	44	45
205	41682	23	21	23	27	27	29	28
206	41733	30	30	30	30	30	40	21
207	42035	2	0	0	0	0	0	1
208	42165	31	31	0	32	31	31	31
209	42348	62	58	45	34	35	24	41
210	42790	23	12	2	2	2	2	1
211	42822	333	0	23	17	21	18	20
212	42987	2	1	2	1	2	2	2
213	43170	44	44	31	43	47	40	55
214	43290	9	5	6	8	6	7	7
215	45386	48	65	56	80	69	67	71
216	45579	27	27	22	28	20	32	25
217	46175	12	21	8	8	9	11	10
218	46176	3	23	17	15	9	13	12
219	46177	0	0	0	0	0	0	0
220	46178	0	0	0	0	0	0	1
221	46444	14	18	15	9	24	17	15
222	47393	22	13	4	2	11	37	22
223	47399	0	0	0	0	0	0	0
224	47472	64	109	59	31	37	38	35
225	47696	35	48	37	42	34	31	27

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 5

Lanjutan : Data tagihan pemakaian air oleh pelanggan

No	Kas	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli
226	47784	15	8	10	11	9	0	0
227	48280	14	12	12	12	13	15	14
228	48930	0	0	0	9	18	8	1
229	49118	21	23	18	17	18	22	24
230	49411	14	14	13	15	17	15	12
231	49459	30	21	34	24	22	30	28
232	49957	33	12	30	30	30	21	21
233	50795	0	0	0	0	0	0	2
234	51035	29	52	43	24	64	47	55
235	51515	14	14	11	14	8	6	9
236	52035	22	20	20	21	23	20	18
237	52286	32	28	27	21	39	33	29
238	52334	10	12	18	27	29	15	13
239	53699	26	25	31	33	31	27	25
240	53738	18	14	17	18	18	15	17
241	53789	26	30	34	42	41	38	34
242	54223	24	14	8	14	19	23	18
243	54777	9	10	8	9	9	10	10
244	54816	18	20	14	18	20	22	21
245	54943	12	10	11	15	7	9	8
246	51379	10	10	10	0	0	0	10
247	51428	24	24	22	26	23	25	26
248	51689	22	22	16	18	17	20	15
249	6764	7	8	7	10	8	8	8
250	64393	0	1	0	1	0	1	0
251	7614							
252	7343	14	15	17	19	27	28	19
253	52437	13	24	26	19	35	32	27
254	54804	24	24	22	23	24	27	26
255	52528	0	0	1	0	1	2	1
256	7015							
257	55096	0	5	5	6	7	5	7
258	4156							
259	4152							
260	4153							
261	3871	41	45	47	42	40	43	97
262	23649							
263	55090	111	127	9	111	102	110	107
264	50807	23	24	17	22	23	25	24
265	4871							
266	7897							
267	4872							
268	4873							
269	4868							
270	4867							

Sumber: Data PDAM Surakarta

Lampiran 5

Lanjutan : Data tagihan pemakaian air oleh pelanggan

No	Kas	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli
271	52089	60	60	60	60	60	60	60
272	52073	5	2	1	4	2	2	2
273	51113	10	10	10	10	10	10	10
274	7021							
275	6836							
276	30611	28	26	26	29	28	30	25
277	7750							
Jumlah		6437	6409	5844	6518	6316	6510	5994
Rata-rata		25,047	24,938	22,739	25,461	24,576	25,331	23,323

Sumber: Data PDAM Surakarta